



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACIÓN

Titulación :

INGENIERO INDUSTRIAL
ESP.ORGANIZACIÓN DE EMPRESAS

Título del proyecto:

DISEÑO DE UN ASEGURADOR DE ESCALADA
BIDIRECCIONAL

Iñaki Mata Ferrer

Pedro Villanueva Roldán

Pamplona, 24 de julio de 2014

ÍNDICE

1	Introducción (justificación de la necesidad)	4
2	Planteamientos y objetivos:	5
2.1	Objetivos	6
3	Morfología.....	7
4	Estudio del mercado de aseguradores	9
4.1	Sistemas de frenado	9
5	Especificaciones del diseño del producto	15
5.1	PCF (Pliego de condiciones funcional)	15
5.2	Método RED	15
5.2.1	Búsqueda intuitiva	16
5.2.2	Ciclo vital y entorno	18
5.2.3	Análisis secuencial de los elementos funcionales	19
5.2.4	Movimientos y fuerzas	20
5.2.5	Productos de referencia	34
5.2.6	Normativa	34
5.3	Resultados del método RED	48
5.4	Pliego de Condiciones Funcional del producto	49
5.4.1	Funciones Principales de Servicio	49
5.4.2	Funciones Secundarias de Servicio	50
6	Diseño conceptual y su selección	51
6.1	Generación de soluciones.....	51
6.1.1	Cuerpo principal	52
6.1.2	Leva de bloqueo	54
6.1.3	Mecanismo de bloqueo de la leva	57
6.1.4	Palanca de descuelgue.....	61
6.1.5	Eje principal	62
6.2	Resultados de las soluciones generadas	62
6.3	Evaluación y selección de las soluciones generadas	62
6.3.1	Método de la convergencia controlada o DATUM (S.Pugh).....	63
6.3.2	Resultado final del diseño conceptual	70
7	Diseño preliminar	72
7.1	Dimensiones	72

7.1.1	Estudio antropométrico.....	74
7.2	Componentes	78
7.2.1	Leva de bloqueo:	78
7.2.2	Soporte:	79
7.2.3	Mecanismo de bloqueo de la leva:	81
7.2.4	Eje.....	106
7.2.5	Tapa delantera:.....	110
7.2.6	Tapa trasera.....	111
7.2.7	Rueda loca y seguidor.....	111
7.2.8	Muelles.....	111
7.2.9	Conjunto empuñadura	112
7.2.10	Tapa sujeción del eje	113
7.2.11	Ejes auxiliares	113
7.2.12	Botón de bloqueo	114
7.3	Resumen de los materiales empleados	114
8	AMFE	118
8.1	Conclusiones.....	123
9	Diseño en detalle.....	124
10	Estudio económico	126
10.1	Presupuesto.....	126
10.1.1	Capítulo 1: materia prima y elementos comerciales	126
10.1.2	Capítulo 2: personal, fabricación y montaje	127
10.1.3	Capítulo 3: pruebas funcionales y de calidad.....	127
10.1.4	Capítulo 4: embalaje.....	127
10.1.5	RESUMEN DEL PRESUPUESTO	127
11	Conclusiones y líneas de trabajo futuro	128
12	Bibliografía	130
12.1	Libros.....	130
12.2	Artículos	130
12.3	Normativa.....	130
13	Anexo 1. Introducción a la escalada	131
13.1	Conceptos de escalada	132
13.2	Física aplicada a la escalada.....	136
13.2.1	Fuerza de choque	137

13.2.2	Factor de caída	139
13.2.3	El efecto polea	140
14	ANEXO 2.Planos.....	142

1 Introducción (justificación de la necesidad)

Este documento recoge la memoria correspondiente al Proyecto Final de Carrera del alumno Iñaki Mata Ferrer estudiante de Ingeniería Industrial Superior en la Universidad Pública de Navarra (UPNA).

Este PFC tiene como objetivo el diseño de un nuevo asegurador de escalada. Cuando un escalador sufre una caída la persona que asegura debe detener el avance de la caída bloqueando la cuerda con un dispositivo conocido como asegurador de escalada

Este proyecto ha surgido como consecuencia de la afición del autor por la escalada deportiva. Como nuevo practicante de esta actividad y tras haber terminado todas las asignaturas de Ingeniería Industrial, se ha querido poner en práctica los conocimientos adquiridos a lo largo de la carrera y relacionarlas con esta nueva pasión. Para ello este Proyecto Fin de Carrera sigue los pasos de la asignatura de 'Diseño' impartida en 5º de Ingeniería Industrial por el profesor Dr. Pedro Villanueva.

Como se verá más adelante se ha realizado un estudio de los aseguradores que existen actualmente en el mercado resaltando sus puntos fuertes y débiles. Este análisis del mercado se ha realizado con el propósito de detectar posibles necesidades latentes en los usuarios de la escalada. Y de esa manera se ha desarrollado la idea que recoge este documento. Se trata de un asegurador de escalada que permite bloquear la cuerda ante la caída de un escalador indistintamente de cómo se haya introducido (la cuerda) en el dispositivo. Para una persona que no esté familiarizado con la escalada debe saber que todos los dispositivos automáticos del mercado sólo permiten la inserción de la cuerda de una única manera para que el freno funcione correctamente. Debido a esta característica muchos usuarios novatos y también algunos experimentados han tenido algún percance por haber introducido la cuerda en el sentido incorrecto. De esa manera el freno no bloquea correctamente la cuerda por lo que puede ocasionar consecuencias inesperadas. Por lo tanto el diseño de un asegurador bidireccional además de tener un atributo que lo diferencia de la competencia previene posibles accidentes causados por la inserción incorrecta de la cuerda. Esta característica además permite que el aseguramiento se amolde tanto para diestros como para zurdos. A esta propiedad se le conoce como enantiomorfía.

Es una buena oportunidad para introducir este producto en las escuelas deportivas de escalada que hay en todo el mundo, teniendo en cuenta además que esta modalidad está captando cada vez más adeptos, siendo uno de los deportes que más está creciendo. De acuerdo a la Unión Internacional de Asociaciones de Alpinismo (UIAA) tiene ahora unos 80 miembros asociados en 50 países de todo el mundo representando a 2.5 millones de personas. Una de esas federaciones es la Federación Española de Deportes de Montaña y Escalada (FEDME) que actualmente con más de 90.000 federados, 2.071 clubes y 19 federaciones autonómicas dedicados a la práctica o competición de los deportes de montaña y/o escalada o que tienen alguna relación con ella.

2 Planteamientos y objetivos:

En este proyecto se realizará el diseño de un asegurador de escalada automático bidireccional. La característica principal de los aseguradores automáticos es que el bloqueo de la cuerda se consigue mediante la activación de un mecanismo interno del freno. La innovación con respecto a los demás frenos del mercado es que el que se va a diseñar puede bloquear la cuerda hacia los dos lados eliminando la posibilidad de introducir mal la cuerda. Por lo tanto previene los accidentes derivados de la incorrecta introducción de la cuerda en los frenos de escalada automáticos. Siendo esta la función principal del asegurador también deberá de cumplir con las siguientes funciones no menos importante:

- Seguro
- Eficaz
- Ergonómico
- Compacto
- Peso ligero
- Resistir distintos climas
- Intuitivo

Este producto intenta por lo tanto mantener todas las ventajas de un asegurador automático con la novedad de que el bloqueo sea bidireccional. La principal dificultad de este proyecto consiste en diseñar el mecanismo interno que pueda bloquear la cuerda en las dos direcciones sin interferir en las demás acciones necesarias que completan el manejo de un freno automático (dar y recoger cuerda, descuelgue del compañero...). Por lo tanto supone un gran reto por parte del diseñador afrontar este proyecto.

A grandes rasgos un asegurador automático contiene las siguientes partes:

Tapa delantera: protege la zona del mecanismo de bloqueo de la cuerda. Además debe ser móvil para poder permitir la introducción de la cuerda en el freno

Tapa trasera: tiene la misma función que la tapa delantera pero ésta no se mueve, es fija.

Eje: es la parte en la que van acopladas todas las demás partes del asegurador. Es la parte más importante junto al mecanismo de bloqueo. El eje no gira cuando ocurre una caída sino que es la leva de bloqueo la que gira respecto a él para bloquear la cuerda

Mecanismo interno de bloqueo: consiste generalmente en una leva que pinza la cuerda contra la superficie del soporte o cuerpo. Su forma determinará el recorrido que hace la cuerda a su alrededor, así como la zona de pinzamiento donde ocurre la fricción y compresión máxima.

Cuerpo o soporte: es la parte central que une la tapa delantera y trasera y sirve para dar rigidez al conjunto.

Palanca de descuelgue: generalmente se sitúa tras la tapa trasera y sirve para descolgar a un compañero que está escalando. Tiene mucha importancia la ergonomía de la palanca a la hora de los descuelgues.

El atributo por tanto que diferencia este nuevo producto es la bidireccionalidad, por lo que se intentará mantener o en el mejor de los casos mejorar las prestaciones que debe tener un asegurador de escalada automático del mercado actual.

A la hora de realizar el diseño de este producto se van a emplear las técnicas de diseño aprendidas en la asignatura de diseño industrial que se imparten en 5º de Ingeniería Industrial con el fin de lograr un producto lo más eficaz y eficiente posible. En esas técnicas se encuentran las fases principales de análisis, síntesis, evaluación y selección para obtener la solución adecuada.

Por lo tanto el proyecto comenzará con unos conceptos básicos sobre la escalada que ayudarán al lector a entender mejor la técnica y física de esta modalidad deportiva y la importancia que tienen los aseguradores. Toda esta información estará recogida en el anexo 1 de este proyecto con el título Introducción a la escalada. Se recomienda por tanto leer primero este anexo antes de abordar las siguientes fases del diseño. Posteriormente se desarrollarán los pasos a seguir para la consecución del nuevo producto, empezando con un estudio de la competencia y terminando con el diseño en detalle y un estudio económico del mismo.

2.1 Objetivos

Resumiendo el objetivo de este proyecto será el estudio y desarrollo de un asegurador de escalada automático bidireccional que conserve o mejore las prestaciones que deben tener estos dispositivos (ergonomía, fiabilidad, ligereza, eficacia, seguridad...) con la intención de su comercialización en las escuelas deportivas de todo el mundo. Además el diseño del producto deberá cumplir que:

- Sea innovador
- Mejore las características de uso del producto
- Sea producible
- Tenga integridad y coherencia
- Satisfaga a los usuarios

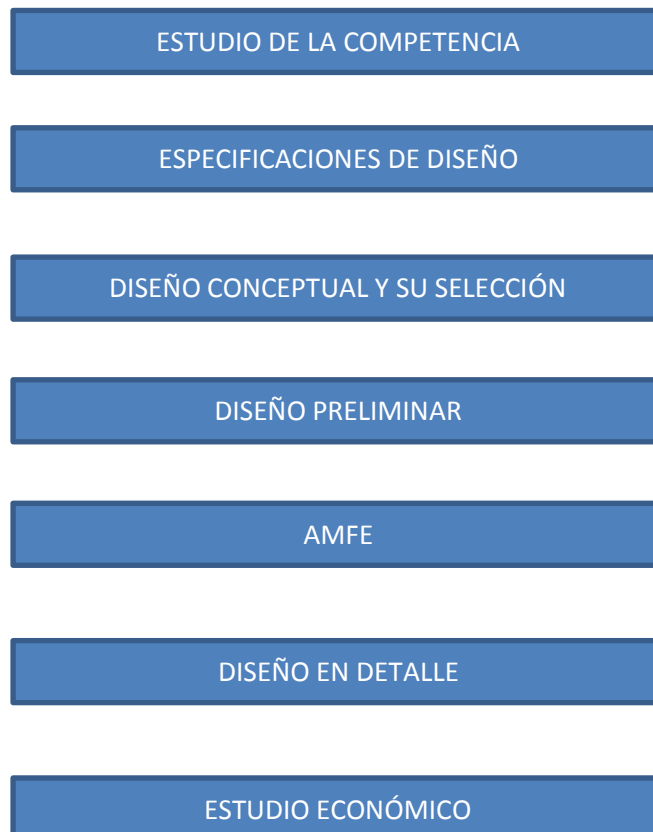
3 Morfología

Las morfologías del diseño son metodologías que establecen los pasos a seguir para obtener un producto que satisfaga las necesidades del cliente de la forma más eficiente posible.

Existen varias morfologías que agrupan distintos métodos que permiten al diseñador alcanzar su objetivo, la eficiencia de un producto que cumple las necesidades del cliente. Las teorías más conocidas son el diseño total de Pugh, el enfoque técnico de Pahl y Beitz, el diseño desde un punto de vista axiomático (SUH) y la morfología de diseño de Asimov. A pesar de tener diferencias entre ellas pueden reconocerse varias fases o puntos en común, al fin y al cabo todos ellos buscan el mismo objetivo. Las fases en común que coinciden todas las morfologías son:

- Detección de la necesidad
- Oportunidad
- Definición del problema
- Idea de solución
- Solución conceptual
- Diseño preliminar
- Diseño en detalle
- Desarrollo

Este proyecto no sigue estrictamente las fases de una morfología en concreto sino que se sigue una metodología personalizada en función de las fases necesarias para el producto de este proyecto.



En este caso el producto que se va a diseñar existe actualmente en el mercado pero incorpora una novedad que no tienen los productos de la competencia. Esta novedad se ha detectado tras un estudio de mercado (estudio de la competencia) como respuesta a una necesidad latente de los usuarios de escalada. Además se trata de un producto muy específico, de producción no masiva y no altamente tecnológico.

Por lo tanto una vez detectada tal necesidad se establecerán las especificaciones del diseño del producto para traducir esa necesidad en términos de funciones caracterizadas y detalladas. Estas especificaciones aparecerán en el documento Pliego de Condiciones Funcional (PCF) que se determinará siguiendo el método RED.

Una vez definido el pliego de condiciones funcional se desarrollará el diseño conceptual, donde se propondrán ideas o soluciones que satisfagan los requerimientos funcionales del pliego. Mediante la herramienta de diseño Datum se seleccionará el modelo más conveniente sobre el que se trabajará en las posteriores fases..

Una vez elegido el diseño conceptual se realizará un AMFE (análisis modal de fallos y efectos) con el fin de asegurar la calidad y mejorar en lo posible. Al mismo tiempo se irán concretando los detalles del producto en el diseño preliminar. En esta etapa se decidirán las dimensiones y materiales de cada pieza que compone el conjunto. Para ello será necesario un análisis de fatiga de los componentes más importantes del producto que irá acompañado con un análisis de elementos finitos mediante ordenador.

Para concluir se realizará el diseño en detalle mediante técnicas de ordenador (CATIA) y por último se realizará un estudio económico del producto diseñado para justificar su viabilidad.

Al ser un producto tan específico y simple, y no ser de producción masiva a la hora de realizar el estudio de mercado se ha analizado directamente los aseguradores automáticos de la competencia y no se ha realizado un QFD estrictamente. El autor se ha valido de la experiencia de sus compañeros de escalada a la hora de cumplir con los requerimientos funcionales.

4 Estudio del mercado de aseguradores

4.1 Sistemas de frenado



Una de las piezas más importantes en la cadena dinámica de seguridad es el sistema de frenado empleado para detener la caída de un escalador. Como se ha referido anteriormente en el anexo 1 los frenos están unidos al arnés del asegurador a través de un mosquetón y casi todos se basan en mayor o menor medida en la fricción de la cuerda con el dispositivo y el mosquetón para frenar la caída. Lo que tienen en común todos ellos es que la cuerda que sale del dispositivo (cuerda inactiva) debe estar siempre sujeta con una mano para que se produzca la fricción necesaria entre la cuerda y el freno que retenga la caída. En caso contrario la cuerda deslizaría sin control a través del freno provocando una caída del escalador hasta el suelo con graves consecuencias.

Existen multitud de aparatos en el mercado pero se pueden clasificar en dos grandes grupos: estáticos y dinámicos.

La principal diferencia entre los dos sistemas es que los dinámicos dejan deslizar un trozo de cuerda a través del freno antes de detener la caída completamente. La fuerza transmitida al escalador y a los anclajes por tanto se ve reducida porque parte de la energía de la caída ha sido disipada en forma de calor como consecuencia de la fricción producida entre la cuerda y el freno. Los frenos estáticos en cambio dejan deslizar muy poca cuerda antes de detener completamente la caída, por lo que la fuerza transmitida al escalador y a los anclajes es mayor y el “tirón” se produce de forma más brusca. Además a diferencia de los dinámicos poseen un mecanismo que se acciona en caso de caída del primero de cordada, gracias a la fricción producida por la mano en la cuerda de frenado (cuerda inactiva), aportando una frenada asistida que facilita la maniobra de aseguramiento.

Es por esto que se recomienda que en vías no equipadas (escalada clásica) el uso de frenos dinámicos para que en caso de caída, los anclajes artificiales (empotradores, friends...) puestos en la pared por el escalador soporten la menor fuerza posible y no se suelten. En cambio en escalada deportiva como las vías están previamente equipadas con anclajes fijos de alta resistencia (químicos, parabolts...) se suelen emplear frenos estáticos. Otro aspecto a tener en cuenta en los frenos dinámicos es que al dejar deslizar más cuerda la distancia de la caída es mayor que si realizara con frenos estáticos. Este deslizamiento, que puede ser importante con factores de caída altos, puede producir quemaduras en las manos del asegurador, por lo que conviene asegurar con guantes. Por último para escaladores de muy diferente peso es preferible utilizar sistemas dinámicos para que el asegurador no se choque contra la primera chapa.

Se observa por tanto que cada sistema de frenado tiene sus ventajas y desventajas según las circunstancias. Un sistema ideal sería aquel que mantuviera el equilibrio entre cierto grado de deslizamiento dinámico y un punto de frenado seguro. Este proyecto se centra en el diseño de un asegurador estático por lo tanto se va a realizar un estudio de los principales aseguradores estáticos que existen hoy en día en el mercado

nombre	Especificaciones	Ventajas	Desventajas
Grigri 1 de Petzl 	<ul style="list-style-type: none"> • Diámetro cuerda: $10 \leq 11$ mm • Peso : 225 gr • Materiales: aleación de aluminio y acero inoxidable • Fabricado en Francia • Normativa CE 0197 • Precio : 60 € (cuando se empezó a comercializar) 	<ul style="list-style-type: none"> • Primer dispositivo semiautomático que salió a la venta • En caídas bruscas se activa una leva que asiste la frenada • Gran control de descenso mediante una palanca de regulación 	<ul style="list-style-type: none"> • Es de los más pesados que existen actualmente en el mercado • Sólo para cuerdas entre 10 y 11mm
Grigri 2 de PETZL 	<ul style="list-style-type: none"> • Diámetro de cuerda: $8,9 \leq 11$ mm • Peso : 168 gr • Materiales :aluminio, acero inoxidable y poliamida • Fabricado en Francia • Normativa: CE, EN, 15151, UIAA. • Precio : 65 € 	<ul style="list-style-type: none"> • Gran popularidad y reconocimiento de la versión anterior Grigri • 20% más ligero y 25% más pequeño que su predecesor • Diseño más ergonómico para la posición de las manos • Excelente control de descenso a través de una palanca de nylon reforzado con fibra de vidrio • Cubre todo el rango de diámetros de cuerda para escalada 	<ul style="list-style-type: none"> • Su precio es bastante elevado

Cinch de TRANGO



- Diámetro de cuerda: $9,4 \leq 11$ mm
- Peso : 185 gr
- Materiales
- Fabricado en Estados Unidos
- Normativa: CE, EN 15151
- Precio : 66 €

- Más facilidad para dar cuerda si se utiliza correctamente
- Más dinámico que el Grigri

- Precio
- No es tan intuitivo como el Grigri y requiere de practica para saber manejarlo correctamente
- Palanca de descuelgue un poco corta y el descenso no es tan fluido comparándolo con el Grigri.
- La cuerda sigue deslizando con el sistema bloqueado en los diámetros inferiores marcados por el fabricante.

Sum de FADERS



- Diámetro de cuerda: $9,1 \leq 10,5$ mm
- Peso : 252 gr
- Materiales
- Fabricado en España
- Normativa: CE, EN 15151
- Precio : 50 €

- Es el más eficaz para dar cuerda de manera rápida y precisa sin tener que tocar ninguna palanca
- Es el dispositivo que menos riza la cuerda por el posicionamiento de la cuerda en S
- La simetría de la placa central lo hace igual de funcional para zurdos y diestros

- En vías tumbadas el descuelgue del compañero requiere de cierta habilidad por parte del asegurador
- Su orificio presenta ciertos problemas con los mosquetones en determinados momentos. Por ello el fabricante recomienda emplear el Belay Positioner que incluye el producto

Smart de MAMUT



- Diámetro de cuerda: $8,9 \leq 10,5$ mm
- Peso : 81 gr
- Materiales
- Fabricado en Italia
- Normativa:
- Precio : 40 €

- Es el más ligero del mercado
- Es el más dinámico (aconsejable para personas de muy diferente peso)
- La estructura monopieza lo hace muy intuitivo y fácil de manejar

- El mecanismo no llega a bloquear del todo la cuerda permitiendo un deslizamiento continuo por lo que dificulta el trabajo del asegurador en ocasiones.
- En el descuelgue del compañero no bloquea la cuerda

Zap-o-mat de EDELRID

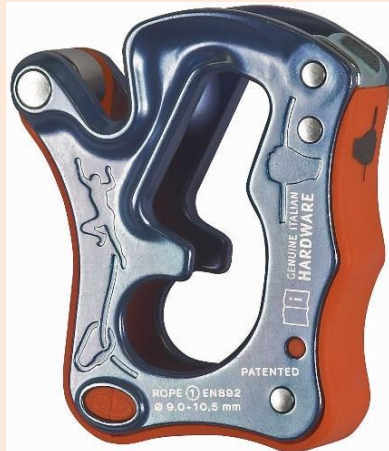


- Diámetro de cuerda: $8,9 \leq 10,5$ mm
- Peso : 158 gr
- Materiales
- Fabricado en
- Normativa: CE, EN 15151
- Precio : 50 €

- Es el primer sistema de freno semiautomático que es regulable. Es decir puede convertir la caída más o menos dinámica ajustando la capacidad de frenado. Útil cuando la diferencia de peso entre escalador y asegurador es grande
- Para introducir la cuerda en el freno no hace falta sacar el mosquetón del arnés.

- Es el menos intuitivo
- Para descender al compañero no se realiza de manera cómoda

Click Up de CLIMBING TECHNOLOGY



- Diámetro de cuerda: $8,9 \leq 10,5$ mm
- Peso :110 gr
- Materiales
- Fabricado en Italia
- Normativa: UIAA
- Precio :55€

- Freno compacto y destaca por su diseño vanguardista.
- Funcionamiento sencillo y muy intuitivo
- Diseño ergonómico para los descuelgues.

- No permite asegurar a un segundo anclándolo directamente a la reunión.

Alpine Up de CLIMBING TECHNOLOGY



- Diámetro de cuerda
 - Simple: $8,9 \leq 10,5$ mm
 - Doble o gemela: $7,7 \leq 9$ mm
- Peso :175 gr
- Materiales : cuerpo en aleación ligera y forjado en caliente
- Fabricado en Italia
- Normativa :UIAA-129
- Precio :77 €

- Puede emplear cuerdas dobles y gemelas
- Tiene tres posiciones de aseguramiento:
 - Aseguramiento autofrenante (modo Click Up)
 - Aseguramiento dinámico
 - Aseguramiento de un segundo
- Permite rapel autoasegurado
- Rapel normal

- Peso mayor frente a otros aseguradores
- Muy voluminoso
- Al principio difícil de emplear
- Solo se puede emplear con mosquetones HMS

Eddy de EDELRID



- Diámetro de cuerda: 9≤11 mm
- Peso : 360 gr
- Materiales
- Fabricado en Alemania
- Normativa: CE, EN15151, UIAA
- Precio : 100€

- Su aspecto robusto e indestructible hace de él el freno más duradero del mercado
- Palanca de aluminio ergonómica y muy confortable para cualquier tipo de descuelgue
- Incluye un sistema antipánico que permite un descenso controlado en todo momento

- Es el dispositivo más caro del mercado
- Es también el más pesado aunque contribuye a su robustez

Tapir de Fixe



- Diámetro de cuerda: 9≤10 mm
- Peso : 273 gr
- Materiales
- Fabricado en España
- Normativa: UIAA
- Precio : retirado del mercado

- Primer dispositivo automático que bloquea la cuerda hacia los dos lados. Por lo tanto no hay una única manera de introducir la cuerda en el dispositivo
- Se previenen accidentes por la mala colocación de la cuerda
- Enantiomórfico: que se puede asegurar con la mano derecha o izquierda indistintamente

- Contiene una palanca en la parte delantera del dispositivo
- Cada vez que se recoge o se da cuerda hay regular la palanca con el pulgar de la mano derecha
- No es muy ergonómico comparándolo con las palancas de los otros dispositivos automáticos

En consecuencia se ha determinado que la idea de incorporar la bidireccionalidad a un asegurador de escalada puede ser una gran oportunidad para adentrarse en el mercado de este tipo de productos ya que no existe hoy en día un asegurador con tales características.

5 Especificaciones del diseño del producto

5.1 PCF (Pliego de condiciones funcional)

El pliego de condiciones funcional es el documento en donde se recogen todas las especificaciones que definen al producto. Dichas especificaciones o características nacen como consecuencia de las necesidades percibidas por los usuarios. Dicho de otra manera el pliego de condiciones funcional es el conjunto de funciones que debe cumplir el producto para satisfacer las necesidades de los clientes.

El PCF empieza a desarrollarse a través de un estudio previo realizado por el departamento de marketing que pone de manifiesto las primeras necesidades detectadas por los clientes. Por lo tanto son las primeras características que definen al producto y que se recogen en el documento denominado pliego de condiciones de marketing. En este proyecto no se ha incluido tal documento debido a la naturaleza del producto y al tipo de mercado al que va a ser destinado. Se trata de un producto muy específico que aunque cada vez tiene más usuarios no se distribuye de manera masiva y el mercado no es muy grande. No obstante sí que se ha realizado un estudio de los aseguradores que hay en el mercado y ha sido de gran utilidad a la hora de realizar el pliego de condiciones funcional.

Para completar el pliego de condiciones funcional se va a emplear la metodología descrita por el ingeniero Robert Tassinari denominado Método RED que se ha estudiado en clase. Existen otras técnicas para desarrollar el pliego de condiciones funcional como por ejemplo la creada por el Instituto de Ingenieros de Producción de Gran Bretaña en el cual se evalúan 27 aspectos a tener en cuenta en el desarrollo del PCF.

5.2 Método RED

Este nombre se debe a que el método pretende “atrapar” entre sus “redes” a todos los campos que influyen sobre el producto, o que son influidos por éste. El objetivo por tanto es identificar, recoger, y transmitir toda aquella información que pueda ser útil a la hora de diseñar el producto.

El método comprende varias fases que contribuyen a identificar y a completar las funciones del pliego de condiciones funcional de nuestro producto. Son:

1. Búsqueda intuitiva
2. Ciclo vital y entorno
3. Análisis secuencial de los elementos funcionales
4. Movimientos y fuerzas
5. Productos de referencia
6. Normas y reglamentos.

5.2.1 Búsqueda intuitiva

En esta etapa a través de métodos creativos de aportación de ideas (brainstorming, sinéctica, lista de preguntas...) el equipo de diseño identifica las especificaciones más inmediatas del producto. Se establecen los objetivos principales del producto y también se emplea documentación (encuestas, estudio de la competencia...) para hallar nuevas funciones que completen el pliego de condiciones provisional.

El autor de este proyecto se ha valido de su experiencia y de la opinión de otros compañeros más experimentados (alguno profesional) de la escalada para tener una percepción más global del asunto. De esta manera se han detectado fácilmente las funciones principales de los aseguradores y otras funciones complementarias. Además es una buena forma de crear ideas o mejoras para el diseño del producto.

Por lo tanto los requerimientos funcionales del pliego de condiciones provisional de momento es el siguiente

PCF (provisional)

La función principal de los sistemas de frenado asistido es **detener o frenar la caída** de un escalador mediante la activación de un mecanismo que bloquee la cuerda. Como se ha comentado anteriormente se recomienda por seguridad que la cuerda libre esté siempre sujeta por una mano del asegurador para prevenir aquellos casos en que el mecanismo de bloqueo no se accione automáticamente. Ej: en pequeñas caídas, vías tumbadas... Como se verá más adelante ésta es la razón por la que la norma los define como dispositivos de freno semiautomáticos.

Resistencia de frenada para cargas dinámicas. Los frenos deben de tener la suficiente resistencia como para soportar la caída del peso de cualquier persona que quiera realizar esta actividad deportiva.

Resistencia a fatiga. Es necesario realizar un análisis de fatiga de los materiales que componen el sistema de frenado, más concretamente de la zona del mecanismo de bloqueo de la cuerda ya que hay se producen las tensiones máximas.

Resistencia y durabilidad al desgaste. Es muy importante que las superficies del freno no se desgasten por la fricción de la cuerda ya que se pueden producir pequeñas rebabas o bordes cortantes que deterioren la cuerda y en el peor de los casos el deshilachado de la misma. Se suelen emplear como materiales acero inoxidable, aluminio...

Fácil manejabilidad. Otro aspecto a tener en cuenta en estos mecanismos es la facilidad del asegurador para dar y recoger cuerda al primero de cordada. Es conveniente que el asegurador no tenga que realizar fuerza en exceso a la hora de realizar estas acciones ya que esto repercute en la seguridad del escalador. Hay momentos en una ascensión en donde es de vital importancia dar o recoger cuerda rápidamente al escalador.

Ergonomía. En este tipo de dispositivos se busca también una posición de aseguramiento lo más cómoda posible. En cuanto los movimientos de las manos sean lo más naturales posibles mejor.

Resistencia a la oxidación. Para garantizar la resistencia y la durabilidad del producto se emplean materiales que eviten la aparición de la oxidación. Ej: acero inoxidable...

Versatilidad en el rango de diámetros de cuerda que puede emplear el dispositivo. Para la escalada se pueden emplear cuerdas de distintos diámetros según las preferencias de los escaladores. Por lo tanto es fundamental que el sistema de freno permita el acoplo de un rango de diámetros de cuerda.

Volumen pequeño y ligereza. Todos los frenos del mercado se caracterizan entre otras cosas por su pequeño volumen y ligereza. Su propósito es aumentar la comodidad del asegurador en cuanto a no tener que soportar grandes cargas en su arnés y en la facilidad de manejo del mismo. En el caso de realizar vías de varios largos* esta característica se convierte en fundamental, ya que los escaladores en sus arneses deben llevar más material (expreses, mosquetones...) y pueden llegar a estar colgados de la pared varias horas. Por lo tanto interesa que el todo el material de escalada sea lo más ligero posible sin perder por supuesto las propiedades mecánicas.

*largos: escalar a largos es progresar por una vía de escalada, que por su longitud, necesariamente debe ser subida en varios tramos. Esto ocurre cuando la longitud de la cuerda no es suficientemente larga para subirla de una sola vez. Para saber si una vía se puede escalar de una sola vez la longitud de la cuerda tiene que ser mayor o igual al doble de la longitud de la vía.

5.2.2 Ciclo vital y entorno

Mediante el ciclo vital y entorno conoceremos las distintas fases por las que pasará el producto así como las condiciones del entorno en las que se usará. De este modo podremos hallar más información y optimizar el diseño del producto añadiendo más funciones asociadas.

CICLO VITAL

- Fabricación
- Embalaje
 - **Ser fácil de embalar**
- Almacenado
 - **Resistir presiones de amontonamiento**
- Distribución
 - **Resistir vibraciones**
- Almacenaje en puntos de venta
- Desembalaje
- Exposición
 - **Tener un punto estético: colores, forma...**
- Utilización
 - Todas las funciones del pliego de condiciones provisional
- Conservación
 - **Limpiar el interior para que no se acumule suciedad y evitar corrosión.**
- Fin de vida

ENTORNO

- Entorno interior

La cuerda es el elemento que debe rozar con las superficies internas del asegurador para poder detener la caída. Por lo tanto las **superficies interiores del freno deben ser lisas y redondeadas** para desgastar lo menos posible la cuerda y a la vez resistente para poder soportar los posibles impactos derivados de la caída de un escalador durante su vida útil. Del mismo modo la superficie interna debe resistir la fricción de la cuerda sin sufrir desgastes que pueda ocasionar la aparición de rebabas que puedan cortar la cuerda poco a poco.

- Entorno exterior

Las condiciones meteorológicas son el elemento exterior más importante a tener en cuenta. Como deporte que se practica en la naturaleza el freno estará expuesto a diversas condiciones climatológicas adversas:

- Lluvia
- Nieve
- Fuertes vientos
- Sol
- Diferentes temperaturas
- Humedad
- Barro
- Polvo

Por lo tanto **la zona de rozamiento** entre la cuerda y la superficie del freno **deberá estar protegida** mediante algún elemento de protección (pej una placa exterior de protección). Además esto prevendrá la zona de frenado de las posibles impactos indeseados contra el suelo. Se buscarán por tanto **materiales duraderos que soporten el entorno** en donde se vaya a emplear. Además se emplearan **materiales que prevengan la aparición de la corrosión**.

5.2.3 Análisis secuencial de los elementos funcionales

- Trabajando

A la hora de asegurar la gama de operaciones que permiten estos frenos son:

- Dar y recoger cuerda rápidamente al escalador a medida que avanza en su ascensión. Es muy importante que estas acciones sean fáciles de realizar por parte de la persona que asegura porque puede influir notablemente al escalador en algunos momentos críticos en la ascensión de una pared.

- En el momento de una caída se activa un mecanismo (normalmente un muelle) que ayuda a detener el deslizamiento de la cuerda a través de la superficie interior del freno. Para desbloquear la cuerda rápidamente se ejerce presión sobre el muelle en el sentido contrario de la compresión de la cuerda.
- Otra operación que permiten estos dispositivos es el descenso del compañero mediante el empleo de una palanca que regula la velocidad de descenso del mismo.

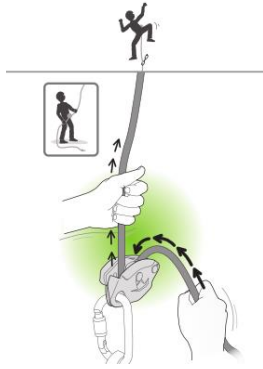
5.2.4 Movimientos y fuerzas

5.2.4.1 Movimientos

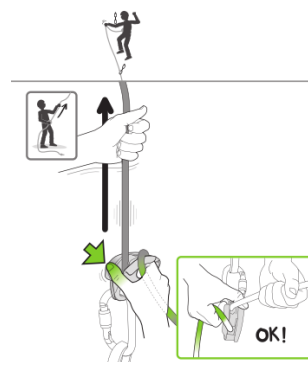
Introducción de la cuerda en el dispositivo en la manera adecuada. Es posible introducir la cuerda de manera errónea lo que puede ocasionar accidentes en escalada ya que el dispositivo está diseñado para trabajar con la cuerda introducida en un solo sentido. Es por esto que sobre la superficie de todos los frenos se graba un par de imágenes de cómo debe pasarse la cuerda. Se dibuja por un lado una mano sujetando una cuerda y por otro lado la imagen de una persona escalando.



Como ya se ha comentado en el apartado anterior, el **desplazamiento de la cuerda a través de la superficie interior del dispositivo debe de ser lo más fluido posible** para facilitar las maniobras por parte del asegurador. Pero a la vez debe haber la suficiente fricción para detener una caída



Dar cuerda para que el escalador progrese en su ascensión



Dar cuerda rápidamente para que el escalador pase la cuerda por el express



Recoger cuerda

Activación del mecanismo de bloqueo mediante un muelle cuando la cuerda alcanza la suficiente tensión.



Retorno venciendo al muelle mediante una palanca que regula la velocidad de descenso teniendo siempre la cuerda de frenado sujeta en la mano.



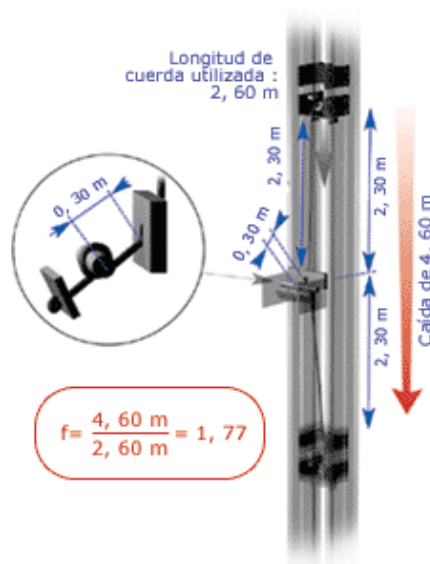
5.2.4.2 Fuerzas

Las fuerzas que participan cuando el dispositivo está siendo utilizado son:

- Fuerza de rozamiento entre la cuerda y la superficie interior del freno
- Fuerza de activación del muelle
- Fuerza de la cuerda contra la leva.
- Fuerza en el lado del escalador
- Fuerza que realiza el asegurador sujetando con la mano la cuerda inactiva.

Todas ellas en conjunto generan la fuerza de frenado necesario para detener la caída de un escalador. A continuación se van realizar unos cálculos orientativos o de referencia para hacerse una idea del tipo de fuerzas que soportan estos dispositivos.

Para saber el rango de fuerzas soportan estos dispositivos primero hay que entender los ensayos a los que se les someten las cuerdas. Estos ensayos se realizan en un laboratorio bajo condiciones extremas que no coinciden con la realidad: masa metálica, aseguramiento fijo y cuerda bloqueada.



Para cumplir las normas las cuerdas dinámicas simples deben soportar 5 caídas sucesivas de factor 1,77 con una masa de 80 kg. Y en la primera de ellas la fuerza choque no debe superar 12 KN. Este valor coincide con la fuerza límite aceptable para un cuerpo humano entrenado, y se adoptó como la fuerza máxima para la apertura de los paracaídas. No obstante el límite de rotura de una cuerda es bastante mayor que los 12 KN y por tanto también soportaría fuerzas de choque mayores

Normalmente las fuerzas de choque que sufre un escalador teniendo en cuenta las condiciones que se suelen dar en la escalada no llegan a 12 KN, salvo en casos excepcionales. Además el último punto mosquetoneado está relacionado con esta cifra de los 12 KN. Suponiendo el peor de los casos $FCH=12KN$ el último punto mosquetoneado sufre aproximadamente $\frac{2}{3}$ más de la fuerza proveniente del escalador, que correspondería con un total de 20 KN.

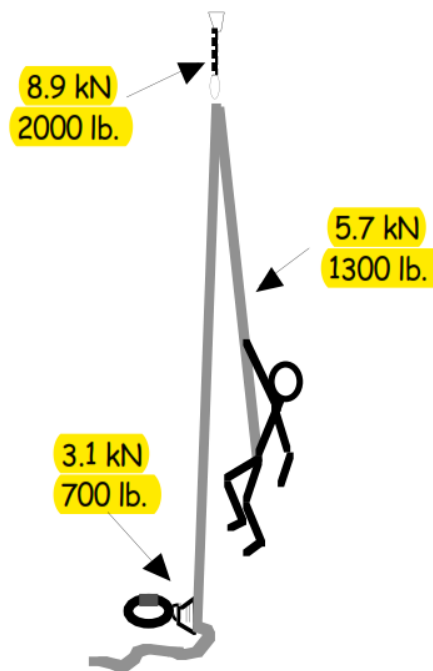
La norma exige que los mosquetones tengan una resistencia longitudinal de 22 KN como mínimo. Por lo tanto en teoría habría 2 KN de más de seguridad.

Como ya se ha comentado anteriormente debido a los distintos parámetros que entran en juego en una caída real las fuerzas de choque son muy complejas de calcular pero suelen ser inferior a los 12 KN. Ya sea por el tipo de freno empleado (más o menos dinámico), o por la fricción de la cuerda con los seguros o contra la pared, el tipo de cuerda...

Además debido al efecto polea que ocurre en el último punto mosquetoneado la fuerza que se transmite al asegurador es menor. Por lo tanto ya tenemos una orientación relativa del rango de fuerzas que soportan los dispositivos de freno de escalada. Aparte hay que hacer una distinción entre las fuerzas que soportan los frenos dinámicos y estáticos.

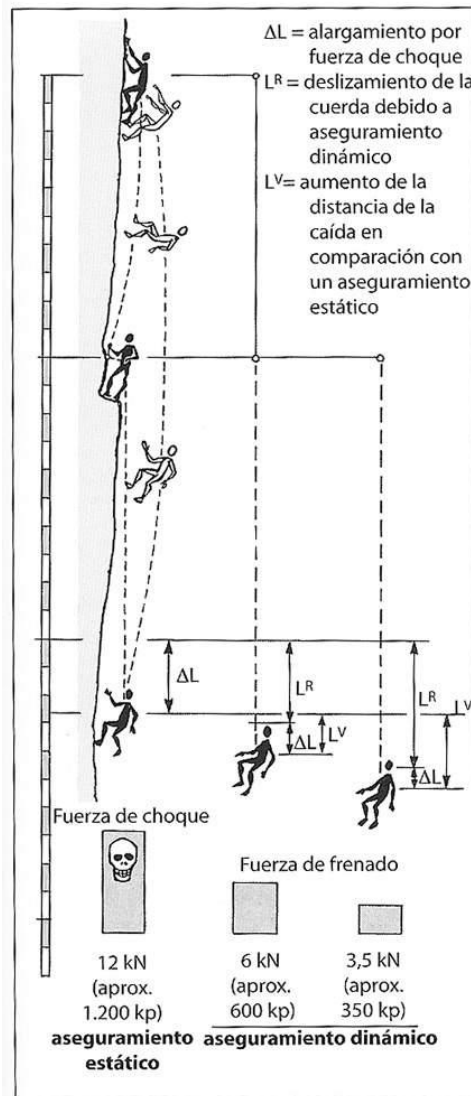
Los dinámicos están diseñados para que la cuerda deslice por el freno y la fricción producida entre estos detenga la caída. Los estáticos en cambio detienen la caída de un modo más brusco y desliza muy poca cuerda por el freno, además suelen tener un mecanismo en su interior que ayuda a bloquear la cuerda. Por lo tanto queda claro que la fuerza de frenado de los dinámicos siempre será menor que la de los estáticos.

Para entender por tanto las fuerzas que soportan los frenos vamos a ver algunos ejemplos.



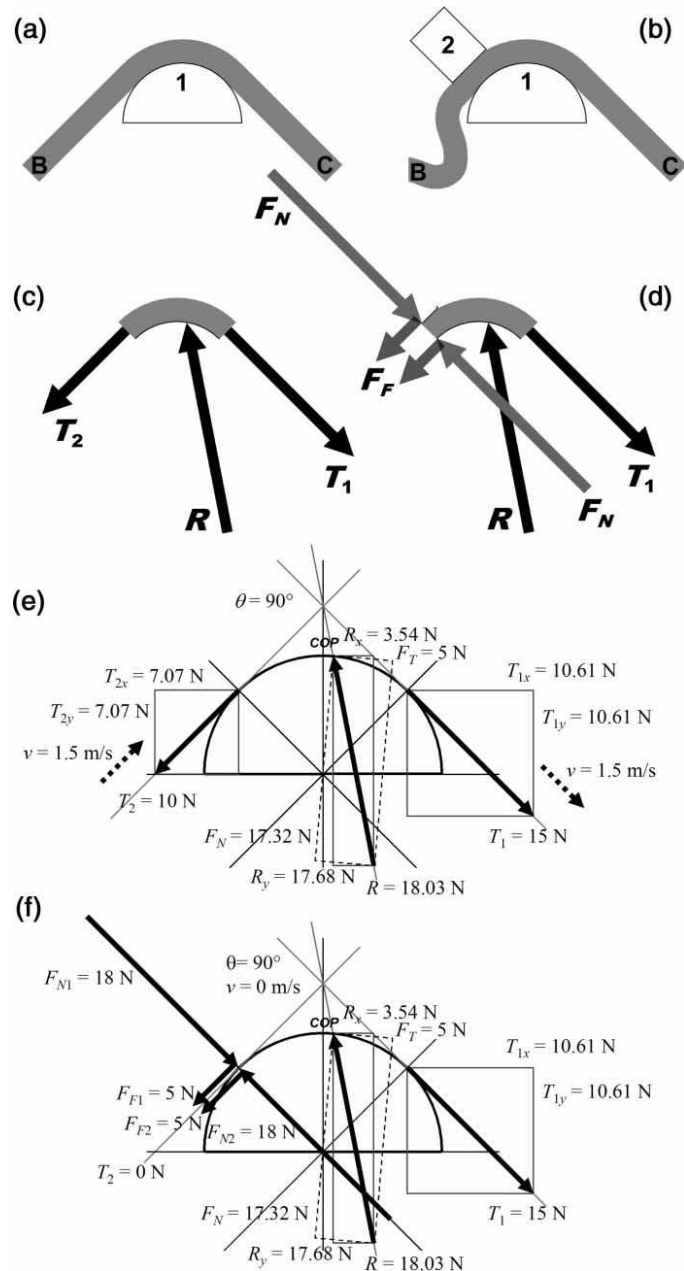
En este ejemplo el escalador siente una fuerza de 5.7 kN. Debido a la fricción producida entre la cuerda y el último mosquetón se transfiere una fuerza de 3.1 kN al asegurador. Por lo tanto el último punto mosquetoneado sufre una fuerza total de 8.9 kN.

En este caso el aseguramiento se supone estático y el freno soporta los 3.1 kN sin problemas. Esto significa que la capacidad de frenado del dispositivo tiene el límite en un valor superior a los 3.1 kN. En cambio si el límite de frenado fuera inferior a 3.1 kN (ej. 2.2 kN), entonces el aseguramiento se produciría dinámicamente. Esto significa que como la fuerza que demanda la cuerda excede la capacidad de frenado del dispositivo, la cuerda se vería obligada a deslizarse por el freno un tramo de cuerda hasta que la fricción producida parara la caída. Esto conllevaría un aumento en la altura de la caída del escalador pero una disminución en la fuerza de choque y en las fuerzas que soportan el último anclaje. Véase la siguiente figura para ver las diferencias entre un aseguramiento estático y otro dinámico.



Existen varios artículos científicos sobre los aseguradores de escalada. Todos ellos han contribuido a entender mejor como se propagan las fuerzas por la cuerda y se han propuestos diferentes modelos. En mi opinión el modelo más completo es el presentado por **Franz Konstantin Fuss & Günther Niegl** en el artículo publicado en la revista científica *sports technology* bajo el título ***Design and mechanics of belay devices and rope brakes*** en 2010.

En él se explica mediante fórmulas y diagramas de fuerzas como actúan tanto los frenos dinámicos y estáticos. Véase las siguientes dos ejemplos en donde se muestran las fuerzas que actúan en los frenos dinámicos y estáticos



Las figuras a,c y e ilustran el comportamiento de un aseguramiento dinámico . Las figuras b,d y f corresponden a un aseguramiento estático. Tanto en la figura a) y e) la cuerda que va hacia el escalador es el tramo de cuerda marcado con una C y la que sujeta el asegurador con su mano con una B.

En la figuras (C) y (e) las fuerzas que actúan son:(**freno dinámico**)

- T1: tensión producida por el escalador
- T2: tensión que va a la mano del asegurador
- R: fuerza de reacción resultante de la combinación de las fuerzas de fricción y normal distribuidas a lo largo del área de contacto aplicadas en el centro de presión (COP).
- V: velocidad lineal de deslizamiento

Como es lógico T2 es menor que T1 debido al recorrido que hace la cuerda por el freno. Por lo tanto el asegurador tiene que controlar con la fuerza de su mano la deceleración de la cuerda. En ocasiones dicha deceleración es tan fuerte que la cuerda puede quemar la mano del asegurador y provocar accidentes. Por eso se recomienda que en aseguramiento dinámico el uso de guantes de protección

Figuras (d) y (f): **(freno estático)**

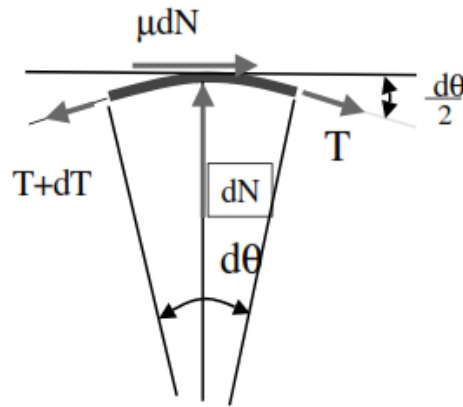
- T1: tensión producida por el escalador
- T2: 0. Al ser estático por definición es nula.
- R: fuerza de reacción resultante de la combinación de las fuerzas de fricción y normal distribuidas a lo largo del área de contacto aplicadas en el centro de presión (COP).
- FN: fuerza normal producida por la compresión de la cuerda en la zona en que el mecanismo pinza la cuerda
- Ff: fuerza de fricción producida en la zona de la cuerda comprimida por el mecanismo de bloqueo
- V: es igual a cero por ser un aseguramiento estático.

Analizando los dos sistemas la principal diferencia es que la zona de compresión de la cuerda en los estáticos, supone unas fuerzas de fricción y normal adicionales que consiguen que la tensión en el lado del asegurador y el deslizamiento de la cuerda a través del freno sean nulos.

Ecuaciones matemáticas de los frenos dinámicos y estáticos:

Los frenos se diseñan para obligar a las cuerdas a describir un recorrido que ayuda a disminuir la tensión en el lado del asegurador. Esta disminución de tensión viene determinada por la ecuación de las poleas o correas (en inglés se le conoce como capstan equation o belt friction equation).

Sea un diferencial de cuerda alrededor de una polea que está en equilibrio. Las fuerzas se muestran en la siguiente figura.



Si se realiza el sumatorio de fuerzas en x e y se tiene:

$$\begin{aligned}\sum F_y = 0 &= T \cos\left(\frac{d\theta}{2}\right) + \mu dN - (T + dT) \cos\left(\frac{d\theta}{2}\right) \\ \sum F_x = 0 &= dN - (T + dT) \sin\left(\frac{d\theta}{2}\right) - T \sin\left(\frac{d\theta}{2}\right)\end{aligned}$$

Como $d\theta$ es diferencialmente pequeño se puede simplificar $\sin \frac{d\theta}{2} = \frac{d\theta}{2}$ y $\cos \frac{d\theta}{2} = 1$

Por lo tanto las ecuaciones quedan:

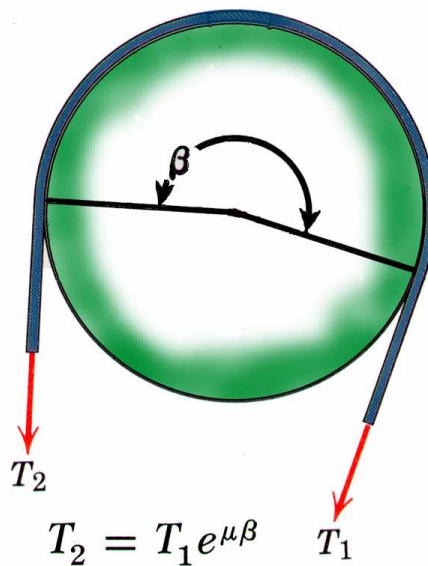
$$\begin{aligned}\sum F_y = 0 &= T + \mu dN - (T + dT) & \Rightarrow dT = \mu dN \\ \sum F_x = 0 &= dN - (T + dT) \frac{d\theta}{2} - T \frac{d\theta}{2} & \Rightarrow dN = T d\theta - \frac{dT d\theta}{2}\end{aligned}$$

El producto de dos diferenciales es muy pequeño respecto a los otros sumando por lo tanto $\frac{dT d\theta}{2}$ se puede eliminar de la segunda ecuación quedando $dN = T d\theta$.

Resolviendo las dos ecuaciones restantes se obtiene:

$$\begin{aligned}\frac{dT}{T} &= \mu d\theta \\ \int_{T_1}^{T_2} \frac{dT}{T} &= \mu \int_0^\beta d\theta \\ \ln \frac{T_2}{T_1} &= \mu \beta\end{aligned}$$

$$T_2 = T_1 e^{\mu \beta}$$



En donde:

- T_1 y T_2 son las tensiones en los dos lados de la polea
- μ : es el coeficiente de fricción
- β : es el ángulo de contacto de la cuerda con la polea.

Si aplicamos esta ecuación en los frenos de escalada y empleamos la terminología empleada por Franz Konstantin Fuss & Günther Niegl en sus ejemplos :

- T1 es la tensión en el lado del escalador
- T2 la tensión en el lado del asegurador
- θ es el ángulo de contacto
- μ_b es el coeficiente de fricción estático

Se obtiene el factor de freno (brake factor) o el factor multiplicador de fuerza (fmf: force multiplication factor).

$$\frac{T1}{T2} = \beta = fmf = e^{\mu_b \theta}$$

Si además hay deslizamiento de la cuerda por el freno hay que tener en cuenta el coeficiente cinético de de fricción también:

$$\frac{T1}{T2} = \beta = fmf = e^{\mu_b \theta + \eta_b v \theta}$$

Donde η_b es el coeficiente cinético de fricción y v es la velocidad de deslizamiento. En el caso de que exista alguna parte del freno que comprima la cuerda en su recorrido (ej:el reverso, o el grigri...), habrá que tener en cuenta que la tensión en el lado del asegurador se verá reducida linealmente por una fuerza de fricción. Como en el caso anterior dependiendo de que haya deslizamiento o no, se empleará una ecuación u otra. Las dos ecuaciones son:

$$F_F = \mu_L F_N \quad (\text{rozamiento estático})$$

$$F_F = \eta_L v F_N \quad (\text{rozamiento cinético})$$

Donde μ_L y η_L son los coeficientes estáticos y cinéticos de fricción respectivamente y F_N es la fuerza de compresión ejercida sobre la cuerda.

En el caso de los frenos estáticos T2 desaparece y es reemplazada totalmente por la fuerza de rozamiento. En tal caso :

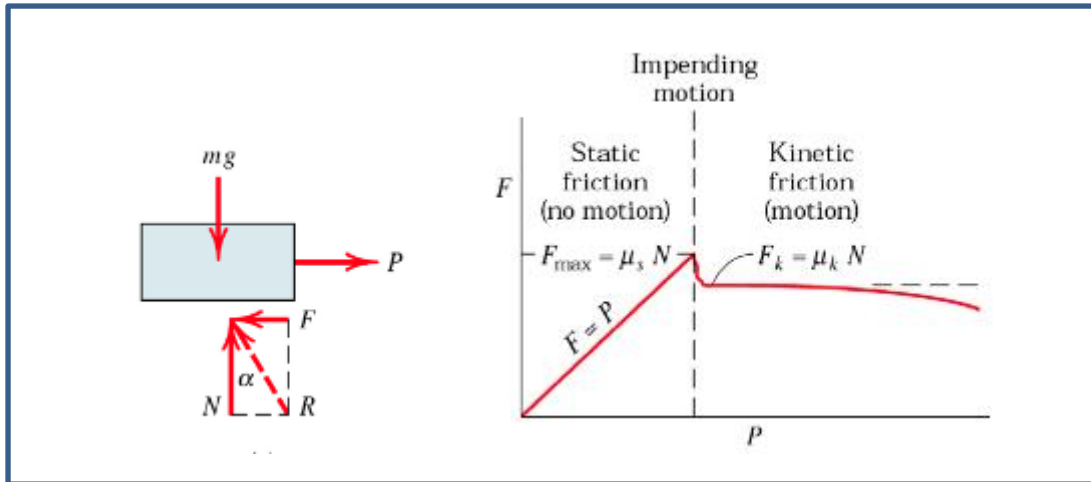
$$\frac{T1}{F_F} = \frac{T1}{\mu_L F_N} = e^{\mu_b \theta}$$

$$\frac{T1}{e^{\mu_b \theta}} = F_F = \mu_L F_N$$

La condición de rozamiento estático se cumple si la fuerza de rozamiento no sobrepasa el límite de deslizamiento, es decir :

$$F_F \leq F_{Fmax}$$

Recordatorio:



Por lo tanto

$$\frac{T1}{e^{\mu_b \theta}} \leq \mu_L F_N \quad \longrightarrow \quad \frac{T1}{\mu_L e^{\mu_b \theta}} \leq F_N$$

En el caso de los frenos dinámicos (suponiendo que hay deslizamiento) con compresión adicional (ej: reverso...) T2 se verá reducida a causa del rozamiento producido por la cuerda en la zona de compresión. En estos casos la ecuación a emplear será:

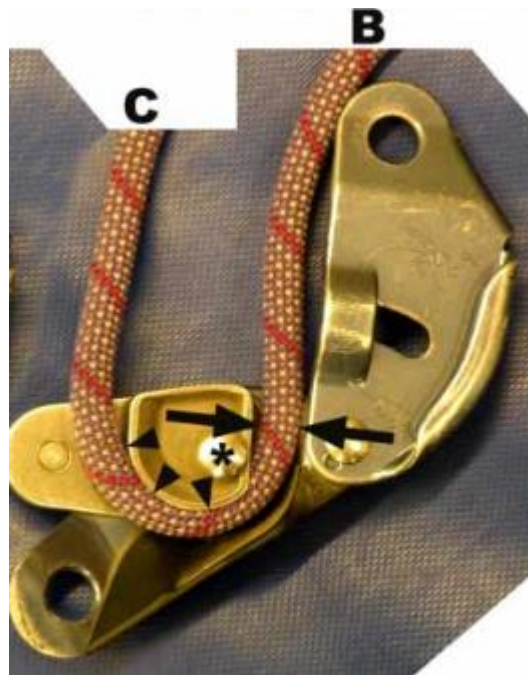
$$\frac{T1}{e^{\mu_b \theta + \eta_b v \theta}} = T2 + F_N \eta_L v$$

Siempre que se cumpla la siguiente condición:

$$\frac{T1}{\mu_L e^{\mu_b \theta + \eta_b v \theta}} > F_N$$

Caso de los frenos semiautomáticos

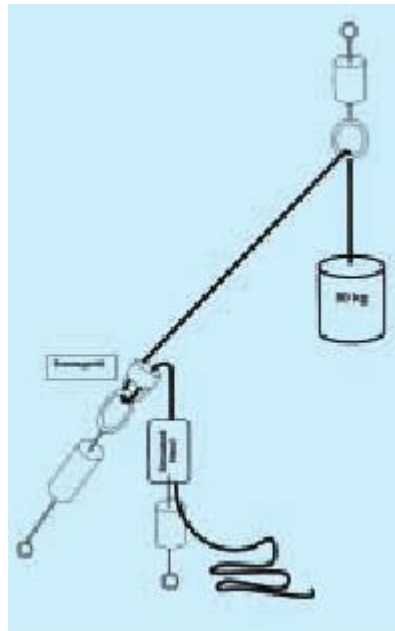
Estos frenos tienen la peculiaridad de tener un mecanismo en su interior que se activa cuando se tensa la cuerda. El mecanismo puede ser una leva que rota o un pasador que se traslada por una corredera o ranura. Cuando se tensa la cuerda, ésta ejerce una fuerza o un momento sobre el elemento móvil que es empujado hacia las paredes del freno comprimiendo y bloqueando así la cuerda. Al bloquear la cuerda la tensión en el lado del asegurador es prácticamente nula (condición de los frenos estáticos). Pero como ya se ha explicado anteriormente esto no exime al asegurador de soltar la cuerda de freno.



La fuerza de rozamiento que ejerce la cuerda sobre el perfil de la leva en la zona cóncava (F_b) crea un momento que hace girar la leva alrededor de su eje, lo que provoca que pince (comprima) la cuerda contra las paredes del freno (F_c). Para que la leva se mueva el momento creado por F_b tiene que superar el momento creado por un muelle interno que mantiene la leva en su posición abierta. En la zona de compresión de la cuerda se crea una fuerza de fricción adicional que ayuda a detener completamente la cuerda. El momento creado por F_b es equilibrado por el momento creado por la fuerza de compresión F_c . Nótese que el brazo de F_c es menor que el de F_b . Esto significa que a pequeños valores de F_b crea mayores fuerzas de F_c lo que ayuda a disminuir por completo la tensión en el lado del asegurador ($T_2=0$). Esto explica que en la mayoría de los casos el deslizamiento de la cuerda dentro del grigri es mínimo y además independiente de la fuerza aplicada en la mano del asegurador. (Thomann and Semmel 2007).

Tabelle 3: Sturzfaktor 0,4 / Vergleich der Sturzversuche bei unterschiedlichen Handkräften:

Gerät	100 N Handkraft			250 N Handkraft			400 N Handkraft		
	F _{max} Bremskraft	F _{max} Umlenkung	Seil- durchlauf	F _{max} Bremskraft	F _{max} Umlenkung	Seil- durchlauf	F _{max} Bremskraft	F _{max} Umlenkung	Seil- durchlauf
GriGri	2,7 kN	5,9 kN	9 cm	2,6 kN	5,6 kN	8 cm	2,5 kN	5,5 kN	9 cm
HMS	1,7 kN	3,8 kN	71 cm	2,2 kN	4,9 kN	30 cm	2,4 kN	5,6 kN	13 cm
Achter (groß)	1,5 kN	3,0 kN	160 cm	1,9 kN	4,3 kN	44 cm	2,2 kN	4,9 kN	13 cm
Tube	1,6 kN	2,7 kN	182 cm	1,7 kN	3,8 kN	51 cm	2,2 kN	5,0 kN	22 cm



5.2.5 Productos de referencia

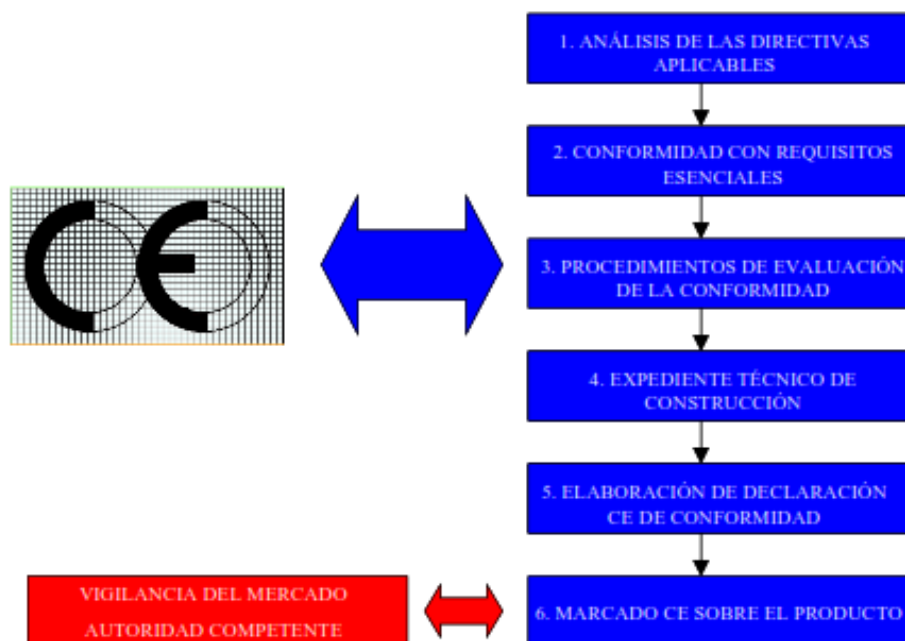
En el capítulo cuatro de este proyecto ya se ha realizado un estudio con los principales frenos semiautomáticos que existen actualmente en el mercado haciendo hincapié en sus puntos fuertes y defectos para poder crear nuevas ideas que contemplen el diseño del nuevo producto.

5.2.6 Normativa

5.2.6.1 Mercado CE

El mercado CE “Conformidad Europea” sobre un producto indica que cumple con los requisitos esenciales que son de aplicación en materia de seguridad en los estados miembros de la Unión Europea. Por lo tanto es un indicador fundamental para los usuarios y autoridades competentes de que el producto cumple con la legislación de la UE y permite la libre circulación del producto dentro del mercado europeo.

Deben llevar el mercado CE aquellos productos que estén regulados por las directivas aplicables de mercado CE. Por lo tanto un fabricante deberá analizar qué directivas son de aplicación a su producto para poder cumplir con todos los requisitos esenciales de cada una de ellas. De esa manera el fabricante declara conformidad con todas las directivas que son aplicables a su producto. No se permite la conformidad parcial, es decir para que un producto pueda llevar el mercado CE debe cumplir conformidad con todas las directivas aplicables.



Directivas aplicables:

Aparatos a gas	D.C. 90/396/CEE
Aparatos de protección para uso en atmósferas explosivas (ATEX)	D.C. 94/9/CEE
Artículos Pirotécnicos	D.C. 2007/23/CE
Ascensores	D.C. 95/16/CE
Baja tensión (LVD)	D.C. 2006/95/CEE
Calderas nuevas de agua caliente	D.C. 92/42/CEE
Compatibilidad Electromagnética (EMC)	D.C. 2004/108/CEE
Diagnóstico in-vitro	D.C. 98/79/CE
Embarcaciones de recreo	D.C. 94/25/CE
Equipos a presión	D.C. 97/23/CE
Equipos de protección individual (EPI)	D.C. 89/686/CEE
Equipos radioeléctricos y equipos terminales de telecomunicación y reconocimiento mutuo de su conformidad (RTTE)	D.C. 1999/5/CE
Explosivos con fines civiles	D.C. 93/15/CEE
Indicación del consumo de energía y otros recursos por parte de los productos relacionados con la energía, mediante el etiquetado y una información normalizada (ErP)	D.C. 2010/30/UE
Instalaciones de transporte por cable destinadas a personas	D.C. 2000/9/CE
Instrumentos de medición	D.C. 2004/22/CE
Instrumentos de pesaje de funcionamiento no automático	D.C. 90/384/CEE
Juguetes	D.C. 2009/48/CEE
Máquinas	D.C. 98/37/CE
Productos de Construcción	D.C. 305/2011
Productos sanitarios	D.C. 93/42/CEE
Productos sanitarios implantables activos	D.C. 90/385/CEE
Recipientes a presión simples	D.C. 2009/105/EC

Requisitos de diseño ecológico aplicables a los productos relacionados con la energía (ErP)	D.C. 2009/125/CE
Restricción uso de sustancias peligrosas en aparatos eléctricos y electrodomésticos (ROHS)	D.C. 2011/65/EU
Seguridad general de productos (No pertenece a Mercado CE)	D.C. 2001/95/CE

5.2.6.2 ¿Cómo cumplir con los requisitos esenciales?

Las normas armonizadas establecen presunción de conformidad con los requisitos esenciales de las directivas correspondientes. Estas normas no son obligatorias por lo tanto el fabricante es libre de emplearlas o no. El fabricante en caso de que no las emplee deberá de utilizar otros medios para cumplir con los requisitos esenciales. En tal caso deberá de alcanzar como mínimo un nivel de seguridad equivalente al de las normas armonizadas.

Es obligatorio → el cumplimiento de las Directivas

Es voluntario → el cumplimiento de las normas armonizadas aunque son el camino más fácil para cumplir con los requisitos esenciales de las directivas aplicables.

Estas normas están establecidas por el CEN (Comité Europeo de Normalización) o CENELEC por mandato de la Comisión y publicadas en el Diario oficial de las Comunidades Europeas.

5.2.6.3 Mercado ce en los sistemas de frenado

Hasta hace muy poco los fabricantes de aseguradores de escalada no se ponían de acuerdo en cuanto a si estos productos eran o no equipos de protección individual (EPI). Esto es debido a la definición de EPI que se recoge en la directiva **89/686/CEE**

EPI: *“cualquier dispositivo o medio que vaya a llevar o del que vaya a disponer una persona con el objetivo de que la proteja contra uno o varios riesgos que puedan amenazar su salud y seguridad”*

Y sobre todo a la inexistencia de normas armonizadas específicas para los aseguradores hasta finales de 2012. Se puede comprobar que en el último Diario Oficial de la Unión Europea concerniente a los EPI, como se incluye una norma específica para los aseguradores de escalada:

Comunicación de la Comisión en el marco de la aplicación de la Directiva 89/686/CEE del Consejo, de 21 de diciembre de 1989, sobre aproximación de las legislaciones de los Estados Miembros relativas a los equipos de protección individual

(Publicación de títulos y referencias de normas armonizadas conforme a la legislación sobre armonización de la Unión.)

(Texto pertinente a los fines del EEE)

(2014/C 110/03)

OEN ⁽¹⁾	Referencia y título de la norma (documento de referencia)	Primera publicación DO	Referencia de la norma retirada y sustituida	Fecha límite para obtener presunción de conformidad respecto a la norma sustituida Nota 1
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
CEN	EN 15151-1:2012 Equipo de alpinismo y de escalada. Dispositivos de frenado. Parte 1: Dispositivos de frenado semiautomáticos, requisitos de seguridad y métodos de ensayo.	20.12.2012		

Por lo tanto con esta norma armonizada queda ratificado que los aseguradores para la escalada libre son Equipos de Protección Individual (EPI) y por tanto los fabricantes de aseguradores de escalada deberán cumplir con los requisitos esenciales de la Directiva **89/686/CEE** para poder sacar al mercado europeo sus productos. Como ya se ha comentado anteriormente con el cumplimiento de la norma armonizada referida a los aseguradores de escalada por parte del fabricante se establece presunción de conformidad con los requisitos esenciales.

Dentro de la norma EN-15151 hay un anexo donde se muestra la correspondencia con los requisitos esenciales de la directiva **89/686/CEE**

Tabla ZA.1 – Correspondencia entre esta norma europea y la Directiva 89/686/CEE

Capítulo(s)/Apartado(s) de esta norma europea	Requisitos esenciales de la Directiva 89/686/CEE	Notas/Comentarios
5.1.3, 5.1.4, 5.2, 5.4, 5.1.2	1.2.1 Ausencia de riesgo y demás factores de molestia "endógenos"	
5.1.3	1.2.1.2 Superficie adecuada en todas las partes del EPI que estén en contacto con el usuario	
5.3	1.3.2 Ligereza y solidez de fabricación	
7, 8	1.4 Folleto informativo del fabricante	
7	2.12 EPI que lleven una o varias marcas de identificación o de señalización referidas directa o indirectamente a salud y seguridad	
5.1.4; 5.2; 5.4	3.1.2.2 Prevención de caídas desde alturas	De acuerdo con esta norma, los dispositivos de frenado semiautomáticos sólo conforman una parte de la cadena de seguridad, y deberían utilizarse en conjunto con otros equipos compatibles.

Resumen de la directiva 89/686/cee

Aunque en la Directiva no califica explícitamente a los grupos EPI como “categorías”, es una práctica habitual utilizar los términos “categoría I” “categoría II” y “categoría III”.

Clasificación

Categoría I:

Se enumera en el Artículo 8.3 y engloba aquellos productos diseñados para proteger al usuario de riesgos graduales o poco inusuales. Entre estos equipos se incluyen gafas de sol, guantes de jardinería o dedos.

Categoría II:

Serán EPI de categoría II todos los no incluidos en las categorías I y III.

Categoría III:

Se trata en el Artículo 8.4 e incluye, por ejemplo, los equipos de emergencia para uso en ambientes muy cálidos o fríos, los aparatos de protección respiratoria o los EPI destinados a proteger contra las caídas desde determinada altura. En esta categoría entrarían los sistemas de frenado para la escalada libre.

Los requisitos de salud y seguridad que deben cumplir los EPI para poder ser comercializados en la UE se especifican con todo detalle en el Anexo II de la Directiva.

Evaluación de la conformidad

Para demostrar el cumplimiento de los requisitos esenciales de la directiva correspondiente hay que proceder a realizar una evaluación de conformidad el cual está basado siempre en dos fases:

- Evaluación del diseño mediante los ensayos y estudios que correspondan.
- Evaluación de la producción mediante un cierto control de calidad de la producción, preferiblemente basado en las normas ISO 9001.2000.

Los procedimientos de evaluación de conformidad a utilizar dependen de la directiva de aplicación. En la siguiente figura se muestra un esquema de los distintos tipos de procedimientos relacionados con las fases de diseño y de producción.

DISEÑO	PRODUCCIÓN
A.-CONTROL INTERNO DE LA PRODUCCIÓN	
B.-EXAMEN TIPO	C.-CONFORMIDAD CON EL TIPO
	D.-ASEGURAMIENTO DE CALIDAD DE LA PRODUCCIÓN
	E.-ASEGURAMIENTO DE CALIDAD DEL PRODUCTO
	F.-VERIFICACIÓN DE PRODUCTOS
G.-VERIFICACIÓN DE LA UNIDAD	
H.-ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD TOTAL	

Para los EPI de las categorías II y III, se seguirá un procedimiento de valoración de conformidad consistente en las siguientes dos fases. En primer lugar, el EPI deberá someterse a un examen CE de tipo, que llevará a cabo un organismo notificado. En segundo lugar, el fabricante deberá escoger entre el, Sistema de garantía de calidad CE del producto final o el Sistema de garantía de calidad CE de la producción con vigilancia. Los detalles de ambas opciones se especifican en el Artículo 11 de la directiva.

Una vez completado el proceso de certificación el fabricante finalmente estará autorizado para colocar el marcado CE a su EPI (en este caso el asegurador de escalada). Si por motivos prácticos no pudiera realizarse el marcado CE en el EPI, esta deberá aparecer en el embalaje. La marca CE deberá ir acompañada de un número de identificación del organismo notificado que haya participado en el proceso de certificación.

Ejemplos de algunos aseguradores de escalada con marcado CE :



5.2.6.4 La UIAA y los aseguradores de escalada

Es la Unión Internacional de Asociaciones de Alpinismo, y representa a varios millones de montañeros y escaladores de todo el mundo. Su objetivo es promover el crecimiento y la protección del alpinismo y la escalada en todo el mundo, avanzar en las prácticas éticas y de seguridad de la montaña y promover el acceso responsable, la cultura y la protección del medio ambiente.

La UIAA fue fundada en 1932 y tiene una presencia global en los cinco continentes con 80 asociaciones miembros en 50 países, que representan alrededor de 2,5 millones de personas.

La UIAA trabaja para minimizar los accidentes en alpinismo y en escalada a través del desarrollo y revisión de las normas de seguridad para los equipos de montaña. Las normas UIAA son las únicas reconocidas globalmente para equipos de montaña. Un producto con la etiqueta de UIAA garantiza los máximos estándares en cuanto a material de montaña.



En muchas ocasiones colabora con el Comité Europeo de Normalización (CEN) en la armonización de las normas. Este es el caso de la norma EN -15151 *Equipo de alpinismo y de escalada. Dispositivos de frenado*. Esta norma está basada en la norma original de la UIAA-129 *braking devices*.

El mercado CE iguala y supera los requisitos de seguridad de la UIAA.

5.2.6.5 Normativa EN15151

La normativa que regulan los frenos de alpinismo no define los frenos como estáticos y dinámicos sino que los clasifica como semiautomáticos y manuales respectivamente.

La norma en cuestión se titula UNE- EN 15151 *Equipo de alpinismo y de escalada. Dispositivos de frenado* y está dividida en dos partes

- Parte 1: dispositivos de frenado semiautomáticos, requisitos de seguridad y métodos de ensayo.
- Parte 2: dispositivos de frenado manuales, requisitos de seguridad y métodos de ensayo

La diferencia entre los dos tipos de frenado es que en los semiautomáticos al sujetar la cuerda de frenado se produce un cambio en la geometría del dispositivo que ayuda a reducir el movimiento de la cuerda hasta detenerla. En los manuales en cambio no existe ningún cambio de geometría en el dispositivo cuando se sujeta la cuerda inactiva y la detención de la cuerda se consigue de una forma más continua y progresiva a través de la fricción producida entre la cuerda deslizada y el freno. Por ejemplo el Grigri es un freno semiautomático porque al sujetar la cuerda de frenado se acciona una leva (es un cambio en su geometría) que ayuda a detener la cuerda. Y el reverso en cambio es un freno manual que reduce la velocidad de la cuerda hasta su parada a causa de la fricción producida por la cuerda deslizada a través del freno (no hay ningún cambio en su geometría).

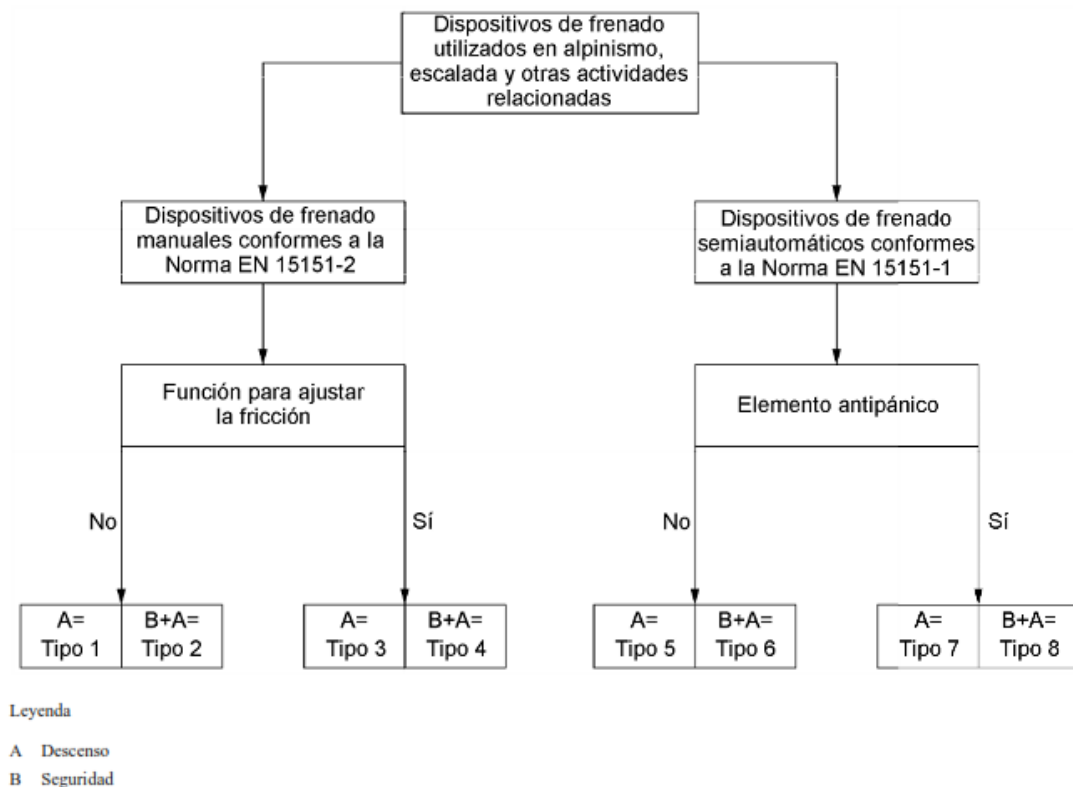


Imagen de un reverso con cuerda doble

Por lo tanto en la norma 15151-1 aparece la siguiente definición de los dispositivos de frenado semiautomáticos:

“Dispositivo de frenado que produce un cambio en su geometría al aplicar cierta fuerza de frenado manual al extremo libre de la cuerda, de modo que la fuerza de frenado manual se amplifica para reducir el movimiento de la cuerda a través del dispositivo hasta su parada”

A continuación se muestra un cuadro con la clasificación que realiza la norma sobre los dispositivos de freno.



Dispositivos de freno semiautomático:

Tipo 5: dispositivos para descenso sin elemento antipánico.

Tipo 6: dispositivos para seguridad y descenso sin elemento antipánico.

Tipo 7: dispositivo para descenso con elemento antipánico.

Tipo 8: dispositivos para seguridad y descenso con elemento antipánico.

Elemento antipánico: parte del dispositivo que hace que la cuerda pare de moverse cuando un cuerpo desciende de manera descontrolada (que la cuerda vaya muy rápido). Esto puede prevenir accidentes derivados de la falta de experiencia por parte del asegurador.

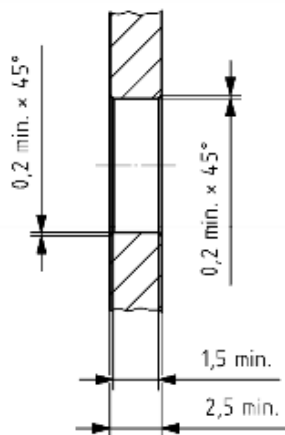
Por ejemplo tanto el Grigri 2, el Cinch y el Sum son dispositivos de frenado semiautomáticos de tipo 6, mientras que el Eddy es de tipo 8 porque tiene elemento antipánico.

La siguiente tabla proporciona un resumen de los requisitos relacionados con los distintos tipos de dispositivos de frenado semiautomático.

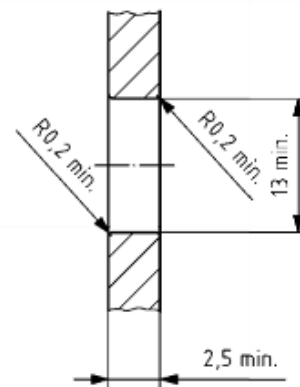
Apartado	Requisitos	Diámetro de la cuerda/tipo de cuerda	Tipo 5	Tipo 6	Tipo 7	Tipo 8
5.1	Generalidades	—	x	x	x	x
5.2	Carga de bloqueo	Mínimo/máximo EN 892 y/o EN 1891	x	x	x	x
5.3	Resistencia estática	Mínimo/máximo EN 892	x	x	x	x
5.4	Rendimiento dinámico al asegurar	Mínimo/máximo EN 892	—	x	—	x

Generalidades

1. Los puntos de anclaje deben de acomodar una barra de un diámetro de (13 + 0,1) mm. Los bordes de la apertura deben de ser tal como se muestra en la siguiente figura.



a) bordes biselados



b) bordes redondeados

2. Los dispositivos de frenado no deben tener ningún borde rugoso ni afilado que pueda cortar, desgastar o dañar las cuerdas ni provocar heridas al usuario.
3. Cuando se usan tal como se describe en la información suministrada por el fabricante, no debe ser posible desmontar la cuerda del dispositivo sin, como mínimo, dos acciones manuales deliberadas y consecutivas.

4. Los dispositivos de frenado deben diseñarse para que funcionen con cuerdas del intervalo de diámetros especificado en la información suministrada por el fabricante.

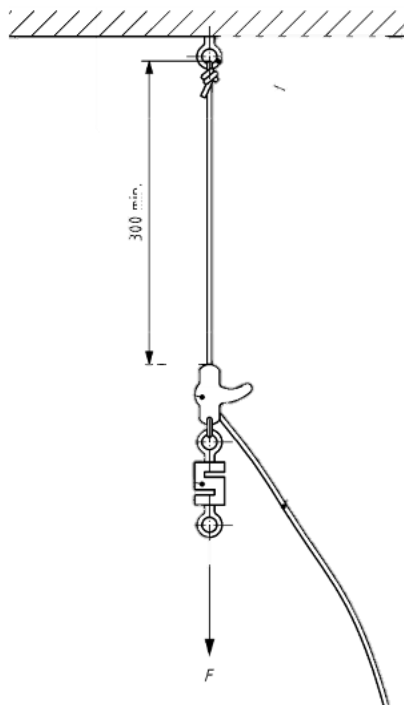
Estas 4 generalidades hay que sumarlas al pliego de condiciones funcional provisional.

Los dispositivos de tipo 6 y 8 deben de ser sometidos a los siguientes ensayos

- Carga de bloqueo
- Resistencia estática
- Rendimiento dinámico al asegurar

Carga de bloqueo

Para la realización de este ensayo se parte con el dispositivo en la posición de bloqueo y se le somete a una carga de $2+0,1\text{KN}$ durante $1+0,5\text{ min}$. El dispositivo debe aguantar la carga con un deslizamiento máximo de 300 mm. Después se debe verificar mediante examen visual que tanto la cuerda como el dispositivo de freno no han sufrido daños.



De acuerdo al estudio realizado por la comisión técnica de la EAMM para el artículo publicado en la revista *Escalar nº 86* se presentan los resultados de la prueba de carga en bloqueo para los diferentes dispositivos de freno. La prueba se realizó con dos cuerdas distintas.

Ensayos de capacidad de bloqueo, en los dispositivos de frenado asistido.		EAAM
Esta ficha técnica recoge los valores obtenidos, durante la realización del tipo de ensayo reflejado en la EN15151-1 (apartado 5.2 Carga de bloqueo), pero llevándolo a su máxima capacidad. © Copy-Left Escuela Andaluza de Alta Montaña y Curro Martínez.		
Dispositivo	Joker 9,1- Beal	Finger 10,2- Roca
GRIGRI	335 daN	469 daN
CLICK UP	244 daN	423 daN
SUM	204 daN	326 daN
EDDY	181 daN	369 daN
CINCH	166 daN	239 daN
SMART	104 daN	199 daN

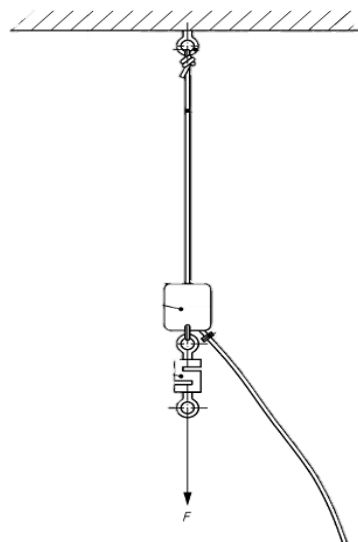
* Para las pruebas del SMART y el CLIK UP se utilizó un mosquetón de clase H, fabricado en aluminio, con un diametro de 12mm (sin acanaladuras).

* Hay que tener en cuenta que los diámetros de las cuerdas, no son en algunos casos los recomendados por el fabricante.

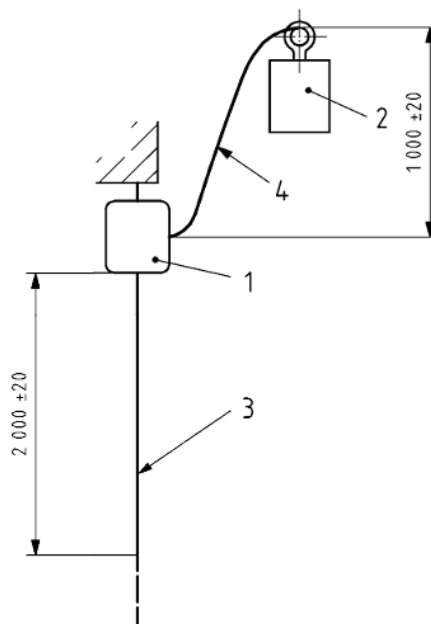
El resultado de la prueba sirve para tener una orientación relativa del dinamismo de los distintos frenos. (Nota 1KN=100 daN)

Resistencia estática

En este caso el dispositivo también parte de la posición de bloqueo pero en este caso la cuerda no puede deslizar por el interior del freno porque tiene un tope o un nudo. El dispositivo de frenado debe de resistir una fuerza de $8+0,5KN$ durante $60+5$ s y no debe romper ni soltar la cuerda cargada.



Resistencia dinámica al asegurar



Para el ensayo se emplea una masa de $80 \pm 0,1$ kg que se ata mediante el "nudo del ocho" a la cuerda. La masa se eleva por encima del dispositivo de frenado a una altura de 1000 ± 20 mm y la longitud del extremo libre de la cuerda que cuelga en vertical por debajo del dispositivo debe ser de 2000 ± 20 mm. La longitud de la cuerda final debe ser de al menos 3800 mm. Antes de soltar la masa se marca la cuerda en el punto de salida del dispositivo. Finalmente se suelta la masa y se mide el deslizamiento de la cuerda en el dispositivo. Este ensayo debe realizarse tres veces y como resultado se halla el deslizamiento medio que no puede nunca superar los 1500 mm. Del mismo modo en ninguno de los ensayos el valor del deslizamiento de la cuerda nunca podrá superar los 1800 mm.

Por lo tanto a continuación se muestra el pliego de condiciones funcional que se ha obtenido a través del método RED.

5.3 Resultados del método RED

Estas son las funciones que se han obtenido tras aplicar el método RED:

Nº	Designación	Criterio
1	Detener o frenar la cuerda ante caídas de gran fuerza de choque	Materiales Estructura
2	Introducción de la cuerda en dos direcciones	Forma
3	Ser ligero	Peso
4	Ser poco voluminoso	Forma Dimensiones
5	Fácil manejabilidad(dar y recoger cuerda fácilmente)	Forma Dimensiones Materiales Fuerza
6	Que sea cómodo(que se amolde al tamaño de las manos)	Ergonomía
7	Tener un agarre cómodo para la palanca	Ergonomía
8	Ser intuitivo	Forma Ergonomía
9	Ser fiable	Vida útil
10	Fácil mantenimiento(limpieza fácil)	Forma
11	Que no tenga bordes cortantes	Forma
12	Evitar atrapamientos de la cuerda con cualquier parte del freno que interfiera en la escalada	Forma Dimensiones
13	Resistir vibraciones	Forma Materiales
14	Resistir impactos y fatiga	Materiales
15	Resistir agentes externos <ul style="list-style-type: none"> • Polvo • Arena • Salinidad • Líquidos 	Materiales
16	Resistir distintas condiciones climatológicas <ul style="list-style-type: none"> • Sol • Viento • Lluvia • Nieve 	Materiales
17	Resistir la oxidación	Materiales
18	Resistir corrosión	Materiales
19	Que no dañe la cuerda	Forma
20	Que rice la cuerda lo menos posible	Forma
21	Que permita distinto rango de diámetros	Forma Dimensiones

22	Materiales no tóxicos	Norma Materiales
23	Facilitar almacenamiento y transporte	Embalaje
24	Ser estético	Forma Aspecto

5.4 Pliego de Condiciones Funcional del producto

Es la expresión funcional de la necesidad que se obtiene partiendo de los resultados facilitados por el Método RED.

Los requerimientos funcionales se pueden clasificar según la importancia que contienen en su cometido. Generalmente se clasifican en dos tipos: principales y secundarias o complementarias. Las principales son aquellas que más influyen en nuestro producto y que pueden llegar a ser aquellas características que las diferencian de la competencia. En definitiva son la razón de ser del producto en cuestión. Las secundarias o complementarias en cambio contienen un nivel de influencia menor pero son necesarias para la completa funcionabilidad del producto

A continuación se van a clasificar los resultados obtenidos del método RED jerarquizando las funciones en principales y secundarias o complementarias.

5.4.1 Funciones Principales de Servicio

Nº	Designación	Criterio
1	Detener o frenar la cuerda ante caídas de gran fuerza de choque	Materiales Estructura
2	Permitir la inserción de la cuerda de forma bidireccional	Forma
3	Ser ligero	Peso
4	Ser poco voluminoso	Forma Dimensiones
5	Fácil manejabilidad	Forma Dimensiones Materiales Fuerza
6	Sea cómodo(ergonómico)	Ergonomía
7	Ser intuitivo	Forma Ergonomía
8	Ser fiable	Vida útil
9	Que no dañe la cuerda	Forma
10	Que no tenga bordes cortantes(superficies lisas y redondas)	Forma
11	Que permita un rango de diámetros de cuerda	Forma Dimensiones
12	Evitar atrapamientos de la cuerda con cualquier parte del freno	Forma Dimensiones
13	Que tenga palanca cómoda	Ergonomía

5.4.2 Funciones Secundarias de Servicio

Nº	Designación	Criterio
13	Resistir impactos y fatiga	
14	Resistir agentes externos <ul style="list-style-type: none"> • Polvo • Arena • Salinidad • Líquidos 	
15	Resistir distintas condiciones climatológicas <ul style="list-style-type: none"> • Sol • Viento • Lluvia • Nieve 	
16	Resistir la oxidación	
17	Resistir corrosión	
18	Que rice la cuerda lo menos posible	
19	Materiales no tóxicos	
20	Resistir vibraciones	
21	Fácil mantenimiento	
22	Ser estético	
23	Facilitar almacenamiento y transporte	

Esta es la información que formará parte del Pliego de Condiciones Funcional

6 Diseño conceptual y su selección

Una vez que se ha realizado el pliego de condiciones funcional y que se ha descrito los distintos frenos semiautomáticos que existen en el mercado el autor de este proyecto ha tenido la idea de diseñar un asegurador semiautomático para la escalada deportiva cuya característica diferencial respecto a las demás alternativas es que la introducción de la cuerda en el dispositivo no sea en una única dirección. Es decir actualmente todos los frenos semiautomáticos del mercado tienen marcado sobre la tapa dos señas que indican por donde hay que pasar la cuerda que va al escalador y por donde debe dirigirse la cuerda que va a la mano de freno del asegurador. La idea de este proyecto es por tanto diseñar un dispositivo en donde la introducción de la cuerda sea bidireccional. Esto significa que indistintamente de cómo se coloque la cuerda, el dispositivo debe detener igualmente la posible caída de un escalador. Por lo tanto una gran ventaja que conllevaría diseñar este producto sería la prevención de accidentes causados por la mala colocación de la cuerda en los frenos. La mayoría de estos accidentes se producen en las etapas de iniciación de escalada cuando las personas aún no están habituadas a manejar dichos dispositivos. Por lo tanto sería una buena manera de introducir este producto en las escuelas de iniciación que existen actualmente. Además tendría la posibilidad de asegurar con la mano izquierda o derecha ya que se trataría de un producto enantiomórfico.

En esta etapa del diseño primero se deben generar soluciones conceptuales que satisfagan las funciones principales (anteriormente reflejado en el pliego de condiciones) de forma global. Después mediante un método de diseño se evaluarán todas las soluciones propuestas y se escogerá aquella que mejor resultado obtenga.

6.1 Generación de soluciones

Para cada parte importante del producto se generarán distintas soluciones o ideas. En este caso las partes fundamentales del producto que se va a diseñar van a ser:

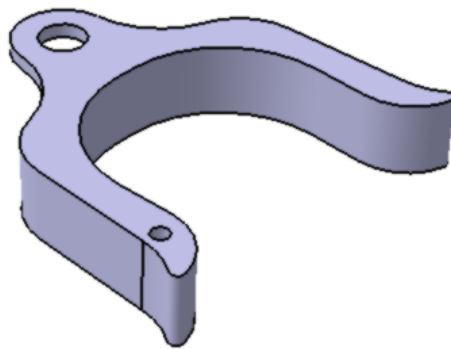
- El cuerpo principal
- La leva que pinza la cuerda a los dos lados.
- Mecanismo de bloqueo de la leva
- Palanca de descuelgue
- Eje principal

Por lo tanto a continuación se van a mostrar mediante bocetos las ideas generadas para cada parte del producto. Muchos de los bocetos se han dibujado en Catia para hacerse una idea de cómo puede ir quedando el producto.

6.1.1 Cuerpo principal

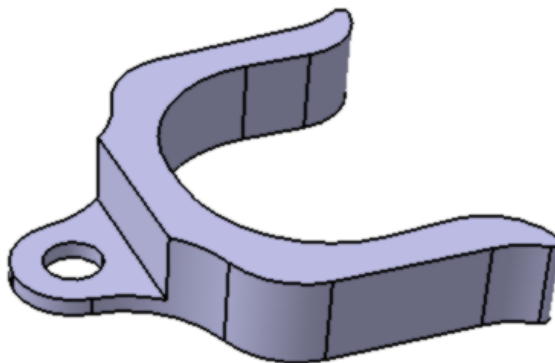
Es la parte más grande del producto. Describe el recorrido que hace la cuerda alrededor de la leva que se encuentra centrada en su interior. La leva debe pinzar la cuerda contra él. Por lo tanto la geometría del cuerpo principal es muy importante porque en parte de él depende que la leva bloquee bien la cuerda. Además también dependiendo de su forma será más fácil o difícil ejecutar las maniobras de dar o recoger cuerda. En estas maniobras existe rozamiento sobre todo entre la leva y la cuerda y en menor medida entre la cuerda y el cuerpo principal.

1)

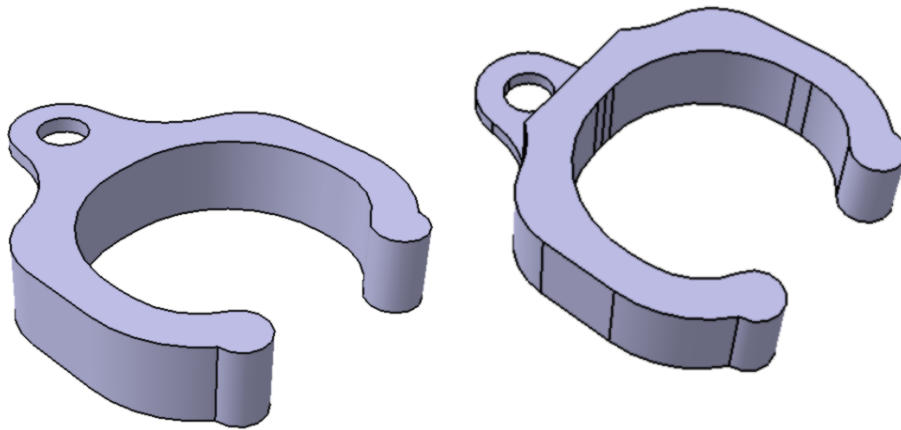


Como se observa en la imagen el cuerpo principal se asemeja a la forma de una herradura. Se ha realizado un orificio en la parte inferior del cuerpo para poder anclar el mosquetón al arnés. Este agujero se ha realizado teniendo en cuenta las especificaciones de la norma 1512. Por otro lado se ha añadido otro orificio más pequeño en uno de los ‘brazos’ para poder acoplar una tapa superior mediante un tornillo. Como el freno debe de bloquear en los dos sentidos se ha optado por una forma simétrica. Por lo tanto todo el conjunto deberá ser simétrico respecto a un eje longitudinal que pase por el centro del freno.

Parte trasera.

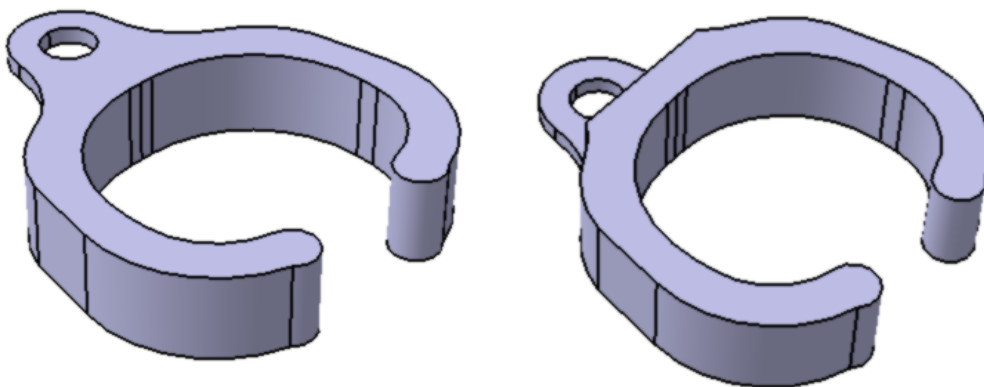


2)



En esta segunda alternativa se han cerrado más los brazos para asegurar que cuando surja el tirón de la caída, la cuerda abrace mejor la leva y pueda rotar ésta pinzando así la cuerda contra el cuerpo principal. El inconveniente que puede surgir es que a la hora de dar y recoger cuerda haya que realizar mayor fuerza ya que al tener una forma más cerrada hay más superficie de contacto entre la leva y la cuerda y por lo tanto más fricción.

3)

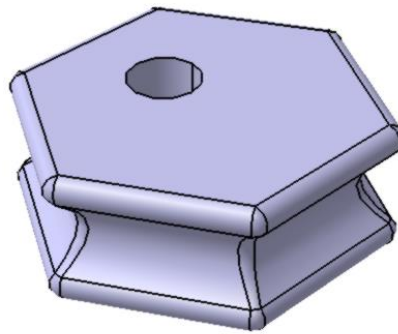


En esta última variante se han cerrado aún más los brazos. Como se ha comentado en la segunda alternativa se acentúa más la dificultad de dar o recoger cuerda aunque esto también depende de la forma de la leva.

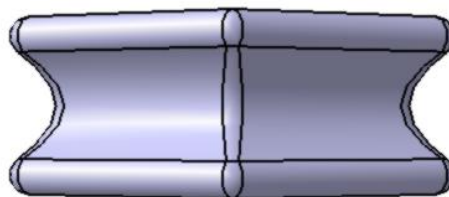
6.1.2 Leva de bloqueo

Es la parte más importante del producto ya que su geometría debe favorecer el bloqueo de la cuerda contra el cuerpo principal cuando ocurre una caída. Es la parte que queda abrazada por la cuerda. Su funcionamiento es simple: cuando el escalador cae, la cuerda se tensa, provocando así la rotación de la leva sobre el eje principal que lo atraviesa, bloqueando a su vez la cuerda contra el cuerpo. Al igual que en el caso anterior la geometría de la leva repercute en la facilidad de dar y recoger cuerda. La parte de contacto entre la cuerda y la leva es crucial ya que en el momento del tirón de la cuerda se debe generar fricción suficiente como para mover la leva y bloquear la cuerda contra el cuerpo principal.

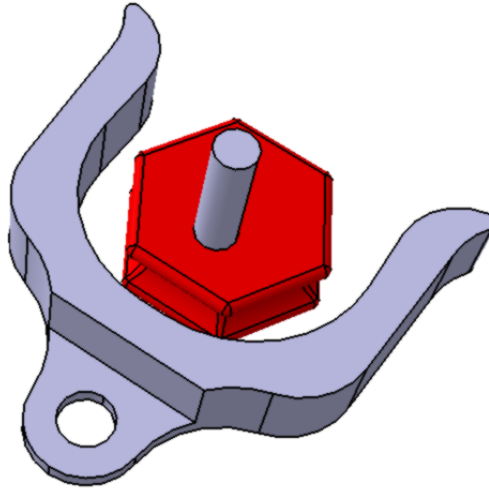
1)



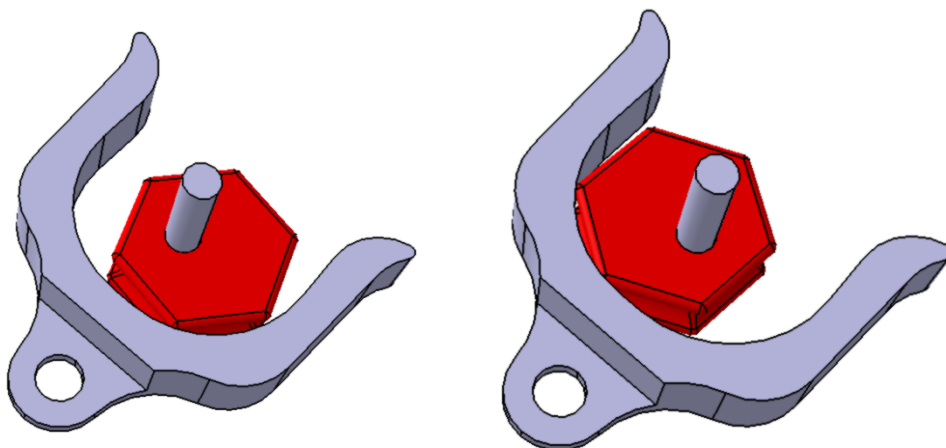
Se ha optado por una leva de forma hexagonal con un centro de rotación desplazado respecto a su centro de gravedad. La razón de este desplazamiento se debe a que favorezca el pinzamiento de la cuerda contra el cuerpo principal. Por otro lado la zona de contacto de la leva con la cuerda se ha modificado para que favorezca el agarre de la cuerda. Se ha realizado un perfil similar al que tiene la leva del Grigri. Véase la siguiente ilustración:



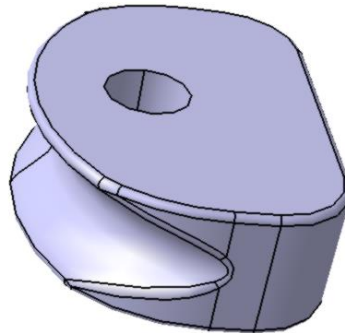
Siempre como dice la norma se ha diseñado la leva de forma que todas las zonas estén redondeadas, para evitar que la cuerda se deshilache. Para entender mejor la idea del porqué del desplazamiento del centro de rotación se muestran a continuación la posición de equilibrio con las dos de bloqueo respectivamente.



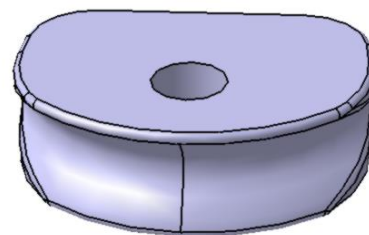
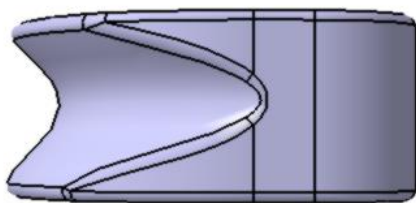
En la figura anterior la leva (roja) estaría rodeada con una cuerda. Esta es la posición en la que debería estar el dispositivo en todo momento a la hora de dar y recoger cuerda. Pero en el momento en el que el escalador caiga, se produce un tirón de la cuerda que obliga a la leva a girar respecto a su eje de rotación lo que provocaría finalmente el pinzamiento de la cuerda contra el cuerpo principal. Estas dos son las posiciones de bloqueo. Se entiende en todo momento que la cuerda está rodeando la leva aunque no esté dibujada.



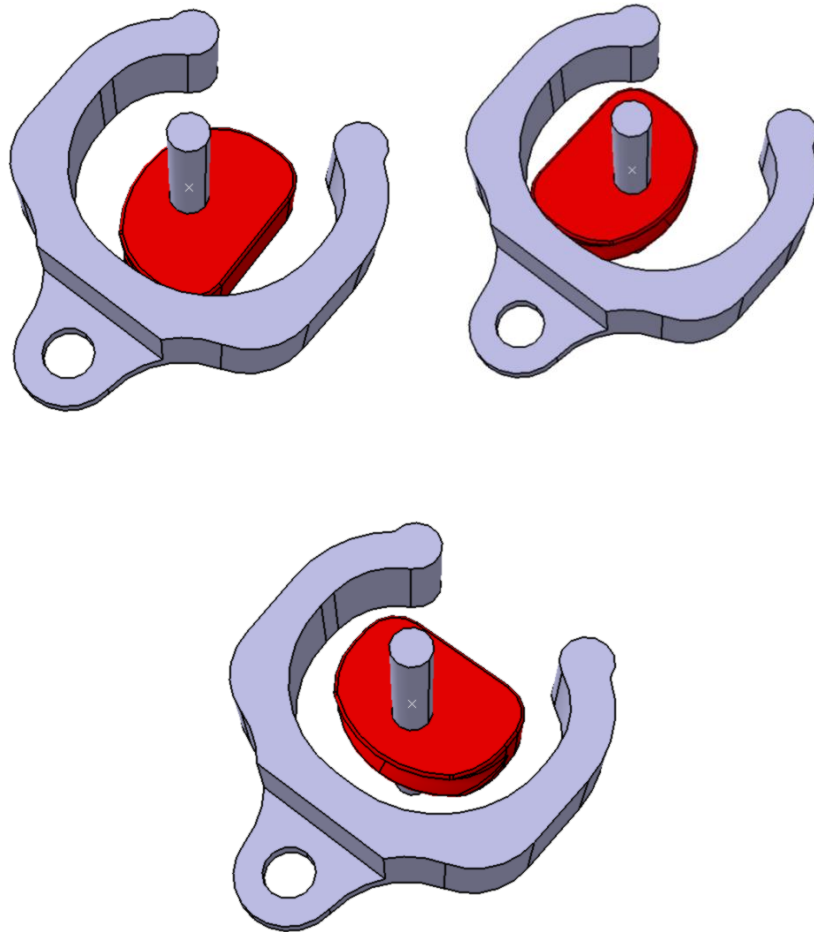
2)



En esta ocasión se ha diseñado una leva con una forma más elíptica con una recta en la parte superior. Al igual que en el caso anterior se ha modificado la superficie de contacto con la cuerda para favorecer el agarre. Pero hay una zona que se ha dejado sin modificar que correspondería con la zona del pinzamiento de la cuerda. La razón de esto es que el pinzamiento resulte más efectivo cuando la cuerda quede atrapada entre la leva y el cuerpo principal. Véase el perfil de la zona de contacto.



En las siguientes figuras se muestran las posiciones de bloqueo y la de equilibrio

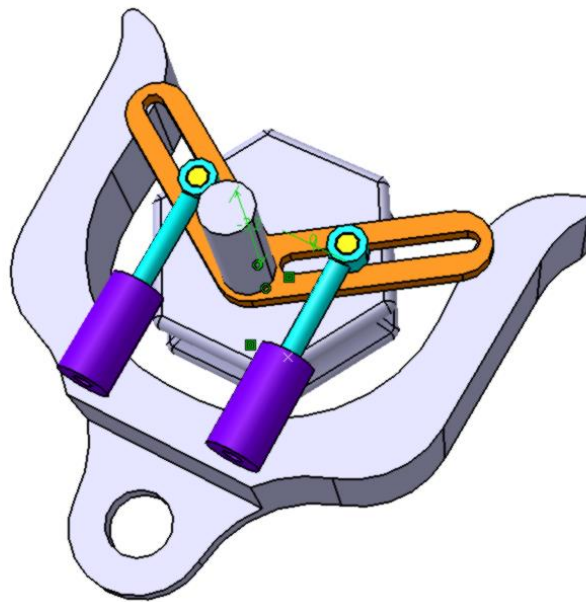


6.1.3 Mecanismo de bloqueo de la leva

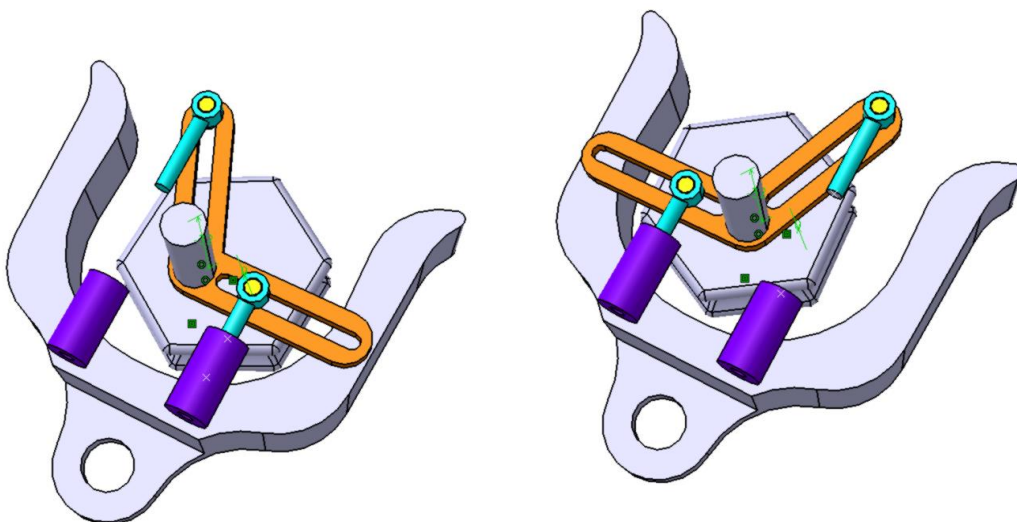
Es el mecanismo por el cual se ejerce una fuerza de torsión contraria al realizado por la cuerda sobre la leva, con el fin de poder devolver la leva a su posición inicial de equilibrio mediante el acoplo de una palanca. La mayoría de estos mecanismos en los frenos del mercado se realizan mediante un muelle de torsión acoplado a la leva (es el caso del Grigri o del Eddy). El producto que se va a diseñar en este proyecto tiene la peculiaridad de que la leva debe de girar hacia los dos lados. Por lo tanto el mecanismo de bloqueo debe hacer lo mismo. Diseñar el mecanismo para conseguir que la leva bloquee hacia los dos lados es la parte más difícil que se prevee en este proyecto junto con el diseño de la leva. También se tendrá que estudiar la posibilidad de implantar otro mecanismo para poder dar cuerda rápidamente a la hora que el escalador necesite cuerda para pasar la cuerda por los seguros.

El siguiente mecanismo trata de dos seguidores (en azul cián) que se desplazan a través de dos colisas mecanizadas en una pieza que va solidaria a la parte trasera de la leva. Cuando la leva gira la pieza de las dos colisas lo hace de la misma manera, obligando a los dos seguidores a desplazarse por las correderas pero siempre dibujando una trayectoria vertical. Dicha trayectoria vertical se consigue mediante dos guías fijas en el dispositivo (en azul morado). A cada seguidor va unido un muelle de compresión a su alrededor que ayuda a regular los momentos de torsión. En la posición de equilibrio los dos muelles están comprimidos de la misma forma.

1.

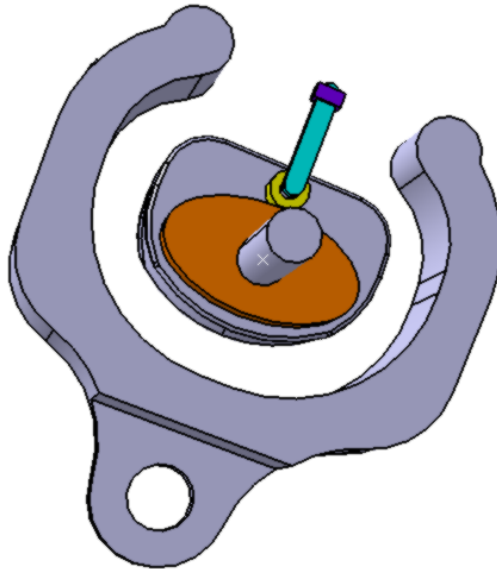


En el caso de una posición de bloqueo un seguidor baja deslizándose a través de la corredera (se comprime un muelle) y el otro en cambio sube (estirándose su muelle correspondiente).

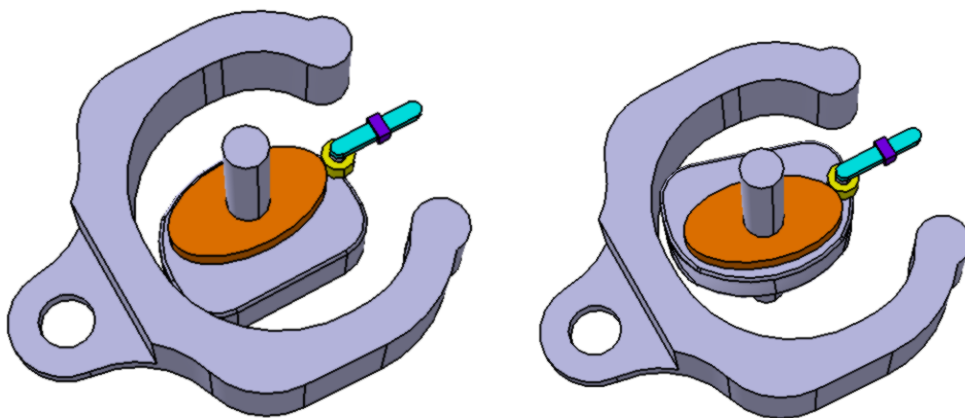


En la siguiente alternativa el mecanismo está compuesto por una pieza con forma elíptica que como en el caso anterior gira solidariamente con la leva que rodea la cuerda. Además se compone de un seguidor que está unida a dicha elipse mediante una rueda loca que permite la rodadura relativa entre ellos. El seguidor tiene un tope en la parte superior que sirve de guía para que su trayectoria sea vertical. De la misma manera el seguidor tiene a su alrededor un muelle de compresión.

2.



Las siguientes figuras muestran las dos posiciones de bloqueo.

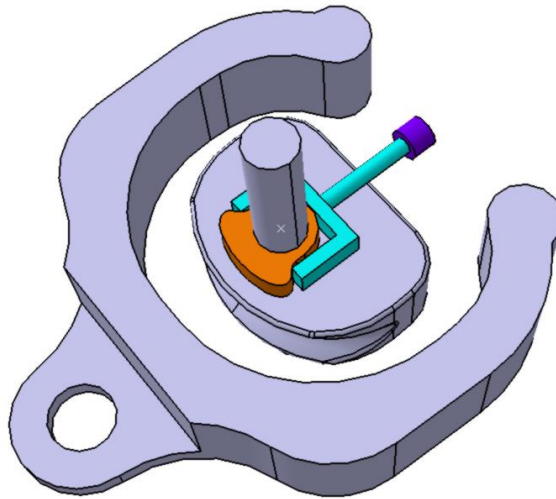


En este caso toma especial relevancia la geometría de la elipse porque de ella depende el ángulo de presión que forma con la rueda loca. Ventajas respecto al diseño anterior es que se ahorra un seguidor y un muelle.

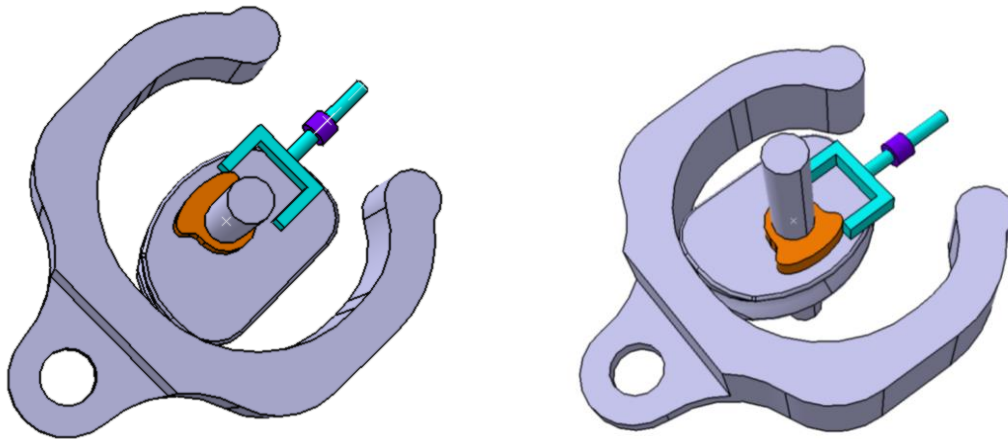
La siguiente opción es una variante de esta segunda. La diferencia con respecto a la anterior es que no existe rueda loca, sino que el seguidor es empujado por otra pieza mediante el giro entre ellas.

3.

Posición de equilibrio



Las dos posiciones de bloqueo

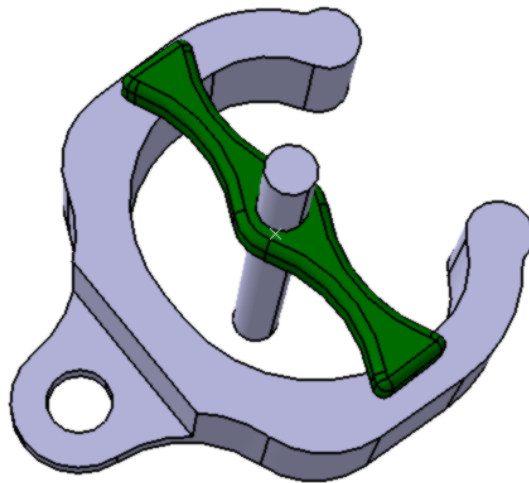


El gran problema que se prevee en todos los mecanismos que se han propuesto hasta ahora es si a la hora de dar y recoger cuerda la leva retornará exactamente a su posición de equilibrio.

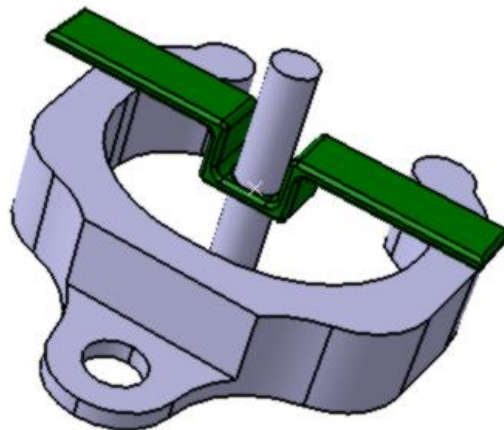
6.1.4 Palanca de descuelgue

Es necesario acoplar una palanca al mecanismo que permita girar la leva manualmente en sentido contrario al que lo hizo la cuerda para devolverla a su posición de equilibrio. Es necesario diseñar por tanto un mecanismo de acople para la palanca en cuestión y que pueda girar a los dos lados lógicamente.

1. En vez de una única empuñadura se ha optado por una doble pensando en las distintas formas que se puede emplear el dispositivo ya que como se ha comentado anteriormente tiene la peculiaridad de ser un freno enantiomórfico.



2. En la siguiente se ha modificado un poco la forma para poder introducir mejor los dedos por debajo de la palanca.



6.1.5 Eje principal

Es el elemento sobre el que se colocan las demás piezas. Debe ser muy resistente y soportar todos los momentos a los que será sometido durante su vida útil. Deberá tener un ajuste deslizante en la parte que esté en contacto con el mecanismo de bloqueo para que todo gire fácilmente respecto a él. Por otra parte deberá presentar un ajuste de apriete para que el eje se mantenga quieto.



6.2 Resultados de las soluciones generadas

Recopilando todos los datos se han obtenido las siguientes soluciones para cada concepto:

- Cuerpo principal: 3 ideas
- Leva: 2 ideas
- Mecanismo de bloqueo: 3 ideas
- Palanca: 2 ideas

6.3 Evaluación y selección de las soluciones generadas

Combinando todas las ideas se pueden llegar a generar hasta 36 propuestas diferentes, ya que en principio todas las ideas entre sí son compatibles. La tapa superior e inferior no se han tenido en cuenta porque su desarrollo se completará dependiendo de la combinación escogida. No obstante es muy laborioso tener que estudiar todas las combinaciones posibles por lo que se analizará cada parte o concepto del producto de manera individual para seleccionar la mejor idea de cada uno de ellos, determinándose de esta manera la combinación del producto final. Dado la estrecha relación que contienen el cuerpo principal y la forma de la leva a la hora de bloquear la cuerda se ha decidido analizarlos conjuntamente ya que son muy dependientes, y uno sin el otro no tienen sentido. Por el contrario tanto mecanismo de bloqueo como la palanca sí que se pueden analizar independientemente.

6.3.1 Método de la convergencia controlada o DATUM (S.Pugh)

Es una herramienta que permite comparar las distintas soluciones que existen para cada concepto con respecto a unos criterios de evaluación. Estos criterios de evaluación se traducen en requerimientos que se establecen dependiendo de la parte del producto o concepto que se está comparando. Por lo tanto se trata de un método de selección de alternativas y es una ayuda para la toma de decisión. Para que el método funcione todas posibles soluciones o ideas deben ser comparables a un mismo nivel y representadas en forma de boceto a un mismo nivel de detalle. En este caso los bocetos se han realizado todos ellos en Catia.

Para aplicar este método es necesario establecer una matriz de comparación en donde en el eje vertical se mostrarán los distintos requerimientos a cumplir y en el eje horizontal las distintas soluciones que satisfacen el mismo concepto. El método exige elegir una configuración que a priori resulte mejor que las demás para posteriormente compararla con las demás alternativas en función de los requerimientos. A la alternativa que se ha escogido como referencia se le denominará DATUM, y así se mostrará en la tabla en su columna correspondiente. Si se considera que la configuración que se está comparando tiene un mejor comportamiento para cada requerimiento que el DATUM entonces se colocará un “+” en la posición de la tabla que corresponda. Si el comportamiento resulta ser similar se colocará un “=”, y si en cambio tiene un peor comportamiento se colocará un “-”.

Resumiendo:

+: La solución x cumple mejor el requerimiento o criterio de selección que el de referencia

=: La solución x cumple de igual manera el requerimiento o criterio de selección que el de referencia

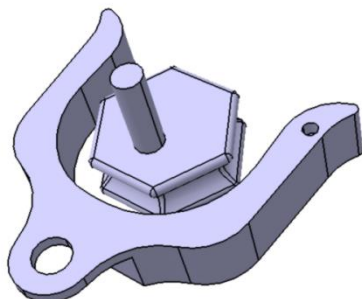
-: La solución x cumple peor el requerimiento o criterio de selección que el de referencia

Una vez que se hayan valorado todas las alternativas se elegirá otro DATUM como referencia pero esta vez se escogerá aquel que haya tenido la mayor cantidad de positivos. Habrá que repetir este proceso hasta que el DATUM sea el mismo. Por lo tanto el método DATUM requiere de un proceso iterativo hasta que converge a la mejor idea o diseño planteado. Además una vez que se ha llegado a la solución final se pueden ver sus puntos débiles para poder mejorarlos en las etapas de diseño posteriores.

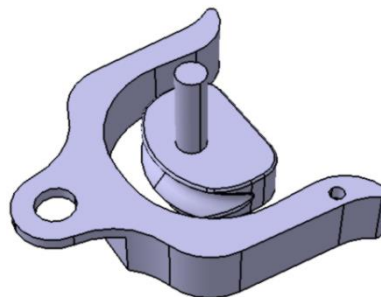
6.3.1.1 Cuerpo principal y leva:

Opciones posibles:

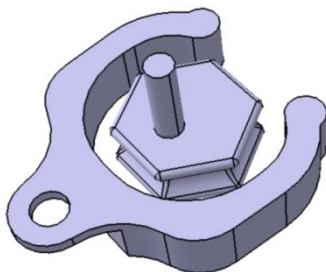
1)



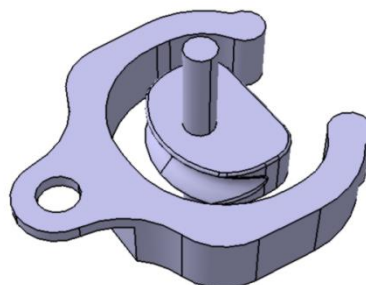
2)



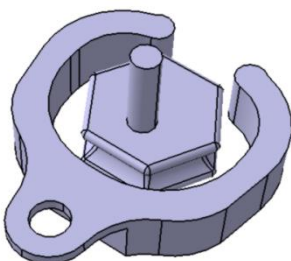
3)



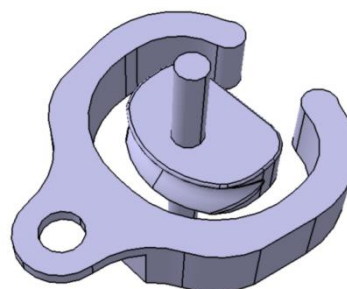
4)



5)



6)



Las opciones se muestran en la siguiente tabla:

OPCIONES	Leva hexagonal	Leva forma D
Cuerpo abierto	1	2
Cuerpo semiabierto	3	4
Cuerpo cerrado	5	6

CRITERIOS	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4	Alternativa 5	Alternativa 6
Ergonomía (posición de las manos)	D	=	-	-	-	-
Facilidad para dar y recoger cuerda		+	-	-	-	-
Peso		+	-	+	-	+
Volumen	A	=	+	+	+	+
Resistencia a oxidación		=	=	=	=	=
Fiabilidad		=	+	+	+	+
Seguridad	T	=	+	+	+	+
Mejor pinzamiento de la cuerda		=	+	+	+	+
Mejor agarre de la cuerda		-	+	+	+	+
Menor posibilidad de bordes cortantes	U	+	=	+	=	+
Menor desgaste de la cuerda		+	=	+	=	+
Menor rizado de la cuerda		=	-	-	-	-
$\Sigma +$	M	4	5	8	5	8
$\Sigma -$		1	4	3	4	3
$\Sigma =$		7	3	1	3	1

A la vista de los resultados es obvio que la alternativa que se ha escogido como referencia ni mucho menos es la mejor. De hecho se puede decir que es la peor de todas ya que las demás opciones han obtenido una mayor cantidad de positivos que negativos. Se puede observar que las alternativas que contienen la leva con forma de D han obtenido globalmente una mejor puntuación que con respecto a las de la forma hexagonal. Las mejores puntuaciones las han recibido las opciones 4 y 6 con un total de 8 positivos. A continuación se va a escoger al azar uno de los dos como el siguiente DATUM.

Se ha elegido la variante 4 como próximo DATUM.

CRITERIOS	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4	Alternativa 5	Alternativa 6
Ergonomía (posición de las manos)	+	+	=	D A T U M	=	=
Facilidad para dar y recoger cuerda	+	+	-		-	-
Peso	-	=	-		-	-
Volumen	-	-	=		-	-
Resistencia a oxidación	=	=	=		=	=
Fiabilidad	-	-	-		-	=
Seguridad	-	-	-		-	=
Mejor pinzamiento de la cuerda	-	-	-		-	=
Mejor agarre de la cuerda	-	-	-		-	+
Menor posibilidad de bordes cortantes	-	=	-		-	=
Menor desgaste de la cuerda	-	=	-		-	-
Menor rizado de la cuerda	+	+	=		-	-
$\Sigma +$	2	3	0		0	1
$\Sigma -$	8	5	9		10	5
$\Sigma =$	1	4	3		2	6

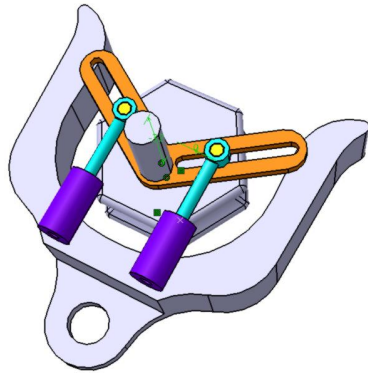
Claramente no hay ninguna alternativa mejor que el DATUM. Por lo tanto más adelante se desarrollará más en detalle el concepto 4 que corresponde al cuerpo semiabierto con la leva con forma de D.

Ahora se procederá a elegir el mecanismo de bloqueo mediante otro DATUM

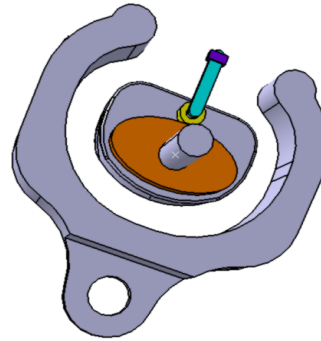
6.3.1.2 Mecanismo de bloqueo

Recordatorio de las posibles alternativas:

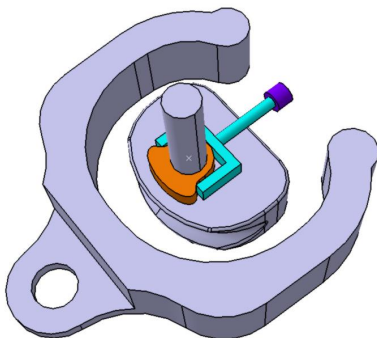
1)



2)



3)



Muchos de los criterios se han dejado en blanco y se ha añadido alguno nuevo que tenga que ver con el movimiento del mecanismo en cuestión. Se ha elegido como DATUM la primera alternativa que corresponde al mecanismo de las dos correderas.

CRITERIOS	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Ergonomía (posición de las manos)	D		
Facilidad para dar y recoger cuerda			
Peso	A	+	+
Volumen		+	+
Resistencia a oxidación			
Fiabilidad	T	+	-
Seguridad		+	-
Mejor pinzamiento de la cuerda			
Mejor agarre de la cuerda	U		
Menor posibilidad de bordes cortantes			
Menor desgaste de la cuerda			
Menor rizado de la cuerda	M		
Posible encallamiento del mecanismo		+	-
Movimiento de giro más continuo		+	-
Más sencillo		+	-
$\Sigma +$		7	2
$\Sigma -$		0	5
$\Sigma =$		0	0

En este caso la alternativa 2 es mucho mejor que el DATUM y la 3 en cambio es la peor. Realizamos de nuevo el proceso escogiendo como DATUM el mecanismo 2 que corresponde a la leva con forma de elipse y el seguidor.

CRITERIOS	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Ergonomía (posición de las manos)		D	
Facilidad para dar y recoger cuerda			
Peso	-	A	+
Volumen	-		+
Resistencia a oxidación			
Fiabilidad	-	T	
Seguridad	-		
Mejor pinzamiento de la cuerda			
Mejor agarre de la cuerda		U	
Menor posibilidad de bordes cortantes			
Menor desgaste de la cuerda			
Menor rizado de la cuerda			
Posible encallamiento del mecanismo	-	M	-
Movimiento de giro más continuo	-		-
Más sencillo	-		-
$\Sigma +$	0		2
$\Sigma -$	7		5
$\Sigma =$	0		0

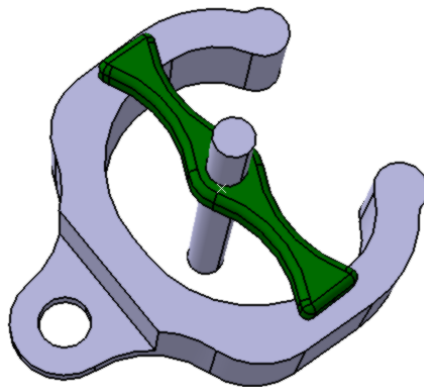
Analizando los resultados queda claro que el mejor mecanismo de giro corresponde al mecanismo de la leva elíptica con el seguidor (alternativa 2). Una vez determinado el cuerpo principal, la leva que rodea la cuerda y el mecanismo de bloqueo, solamente queda por seleccionar la palanca de descuelgue.

Como solamente se han planteado 2 alternativas no se va a realizar un DATUM sino que se va a justificar la elección mediante el análisis de las dos palancas.

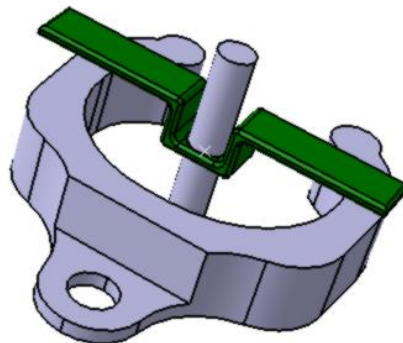
6.3.1.3 Palanca de descuelgue:

Soluciones planteadas:

Solución 1)



Solución 2)

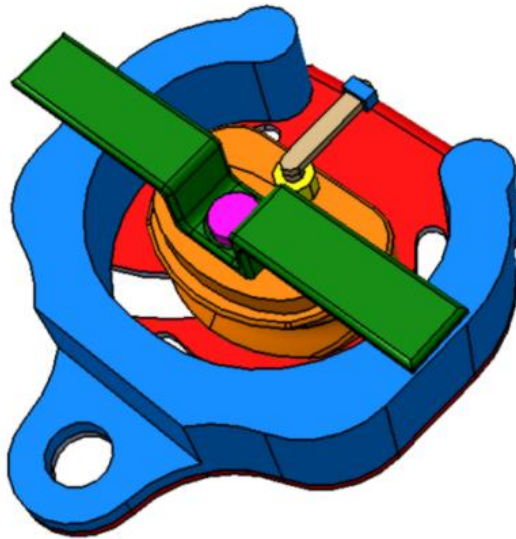


Las dos soluciones planteadas muestran una doble palanca pensando en las distintas maneras en que se puede emplear el dispositivo a la hora de asegurar a un escalador.

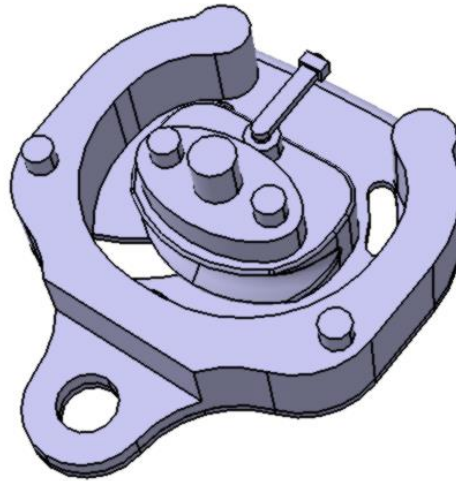
La primera solución no deja espacio entre la parte trasera del cuerpo y la palanca por lo que el agarre de la palanca no es del todo cómodo. En cambio en la segunda alternativa como se muestra en la imagen se ha dejado un espacio libre para la mejor introducción de los dedos. Por lo tanto se ha considerado que la mejor elección es el segundo diseño planteado. No obstante la forma de agarre de la palanca siempre se puede modificar para amoldarla a los dedos de una mano. Desde esa perspectiva la primera solución sí que presenta una forma más cómoda a la hora de agarrar una palanca.

6.3.2 Resultado final del diseño conceptual

Por lo tanto el diseño conceptual final que se ha como resultado de aplicación del método DATUM ha sido el siguiente.



Hay que comprobar que este diseño cumple con las especificaciones redactadas en el pliego de condiciones funcional. Repasando de nuevo el pliego de condiciones funcional se prevee que con este diseño a la hora de dar y recoger cuerda la leva se mueva hacia un lado u otro e impida por lo tanto realizar dicha acción. Por ello se ha decidido emplear dos muelles adicionales en la parte trasera de la leva que estén unidos al soporte del asegurador con el fin de que a la hora de dar y recoger cuerda ayuden a impedir que la leva gire. Véase la siguiente figura con los dos muelles adicionales.



Además en la operación de desbloqueo (después de una caída) estos muelles se reparten la fuerza y ayudan al muelle del mecanismo leva-seguidor a trabajar con menos tensión facilitando dicha operación.

Obviamente este no es el resultado final del producto. En el diseño preliminar se van a determinar la geometría exacta y materiales del producto. Por ejemplo el tope del muelle del seguidor hay que rediseñarlo. Además falta por diseñar la tapa delantera y trasera del dispositivo.

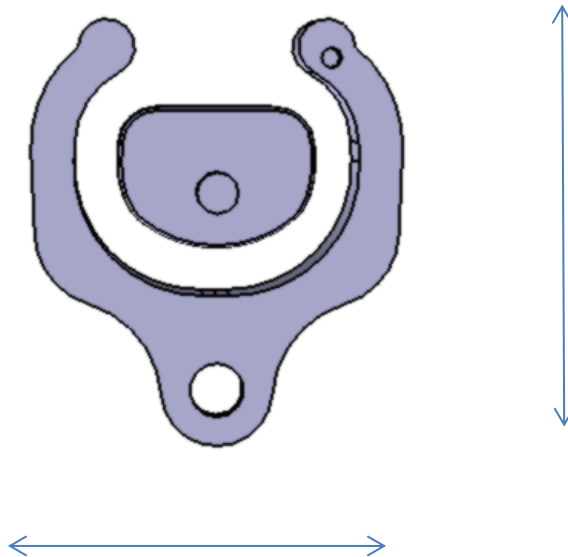
7 Diseño preliminar

En esta etapa del proceso se deben definir completamente todas las piezas que componen la solución obtenida en el diseño conceptual. Por ello se debe definir las dimensiones, materiales y estética de cada parte del producto. Será necesario deberá realizar un estudio tensional del producto aplicando las fuerzas que se dan en la escalada y cumpliendo siempre lo establecido por la norma antes ya comentada: UNE- EN 15151 *Equipo de alpinismo y de escalada. Dispositivos de frenado*.

Primeramente se van a definir las dimensiones globales del producto teniendo en cuenta a ciertas restricciones que está sometido. Después se realizará un análisis de fuerzas de cada componente para definir completamente la geometría del material así como su material.

7.1 Dimensiones

Las dimensiones que se van a calcular primeramente son la anchura y longitud global del producto.



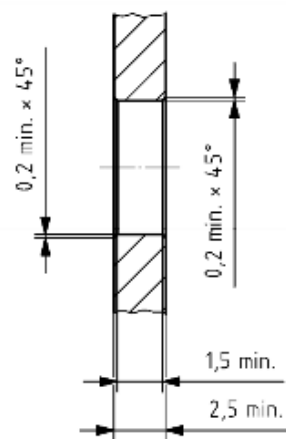
Para ello se han de tener en cuenta los siguientes factores:

Diámetro de la cuerda: hay que tener en cuenta para qué rango de diámetros estará diseñado este dispositivo. Este aspecto muy importante a la hora de diseñar el recorrido que hace la cuerda por el interior del freno. La cuerda debe tener el suficiente espacio entre el soporte y la leva de bloqueo como para deslizarse sin problemas a la hora de dar y recoger cuerda. Si bien es verdad que las cuerdas de diámetro menor siempre deslizarán mejor que las de mayor tamaño.

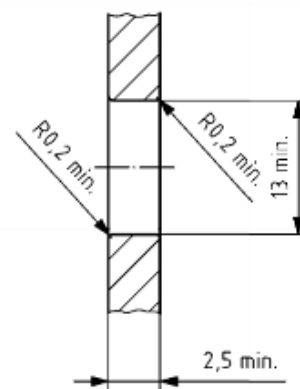
La geometría de la leva de bloqueo: sus dimensiones también influyen mucho en la altura y anchura total del producto. Hay que tener en cuenta que la leva debe girar y además bloquear hacia los dos lados.

Punto de anclaje del mosquetón: el orificio debe cumplir lo que establece la norma.

- 1) *Los puntos de anclaje deben de acomodar una barra de un diámetro de $(13 \pm 0,1)$ mm. Los bordes de la apertura deben de ser tal como se muestra en la siguiente figura.*



a) bordes biselados



b) bordes redondeados

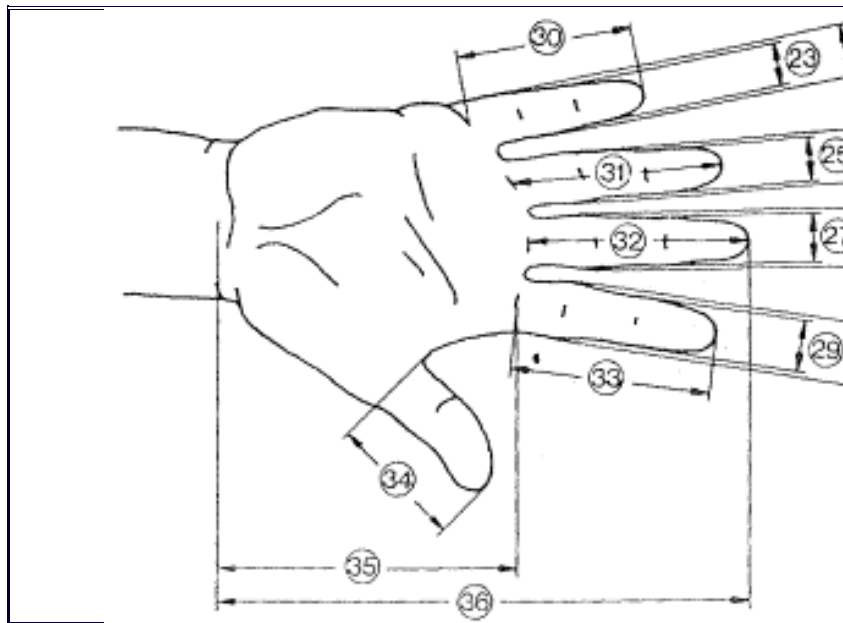
Dimensiones de la mano del asegurador. Es el factor que está relacionado directamente con los dos anteriores y por lo tanto es muy importante. El dispositivo debe tener un tamaño adecuado para que el dispositivo se amolde a la forma de la mano correctamente y que las operaciones que se deben realizar con él sean lo más cómodas posibles (ergonomía). Para ello se ha tenido en cuenta un estudio antropométrico de la mano.

7.1.1 Estudio antropométrico

Los valores se han extraídos de la norma la Norma DIN 33 402 2º parte, destinadas a ser usadas en el diseño y/o elección de herramientas, utillaje y mandos.

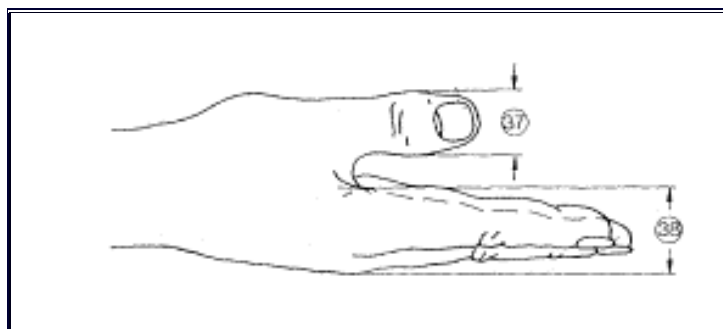
En las tablas se dan las medidas medias aritméticas como también los valores límites, (superior e inferior). Dichos valores límites han sido establecidos de manera tal que solo el 5% de las personas sometidas a estudio evidencian valores mayores al límite superior y otro 5% acusan valores menores al límite inferior.

Figura 1. Tabla con las principales medidas de la mano (Según Norma DIN 33.402 segunda parte)



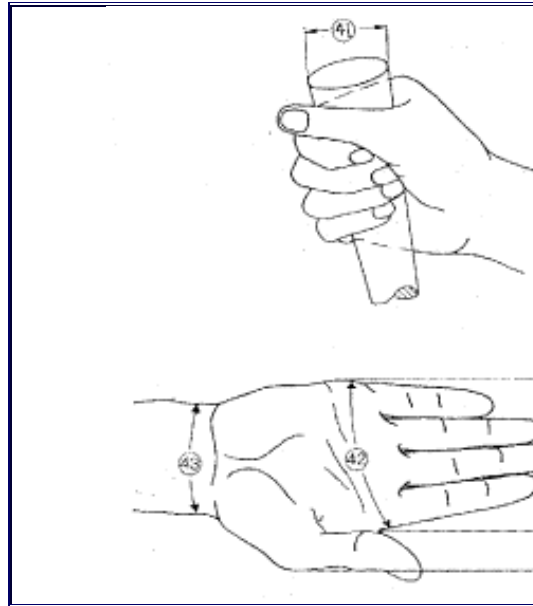
Dimensiones En cm.		PERCENTIL						
		Hombres				Mujeres		
		5 %	50 %	95 %		5 %	50 %	95 %
22	Ancho del meñique en la palma de la mano	1,8	1,7	1,8		1,2	1,5	1,7
23	Ancho del meñique próximo de la yema	1,4	1,5	1,7		1,1	1,3	1,5
24	Ancho del dedo anular en la palma de la mano	1,8	2,0	2,1		1,5	1,6	1,8
25	Ancho del dedo anular próximo a la yema	1,5	1,7	1,9		1,3	1,4	1,6
26	Ancho del dedo mayor en la palma de la mano	1,9	2,1	2,3		1,6	1,8	2,0
27	Ancho del dedo mayor próximo a la yema	1,7	1,8	2,0		1,4	1,5	1,7
28	Ancho del dedo índice en la palma de la mano	1,9	2,1	2,3		1,6	1,8	2,0
29	Ancho del dedo índice próximo a la yema	1,7	1,8	2,0		1,3	1,5	1,7
30	Largo del dedo meñique	5,6	6,2	7,0		5,2	5,8	6,6
31	Largo del dedo anular	7,0	7,7	8,6		6,5	7,3	8,0
32	Largo del dedo mayor	7,5	8,3	9,2		6,9	7,7	8,5
33	Largo del dedo índice	6,8	7,5	8,3		6,2	6,9	7,6
34	Largo del dedo pulgar	6,0	6,7	7,6		5,2	6,0	6,9
35	Largo de la palma de la mano	10,1	10,9	11,7		9,1	10,0	10,8
36	Largo total de la mano	17,0	18,6	20,1		15,9	17,4	19,0

Figura 2.: Tabla con las medidas del perfil de la mano (Según Norma DIN 33.402 segunda parte.



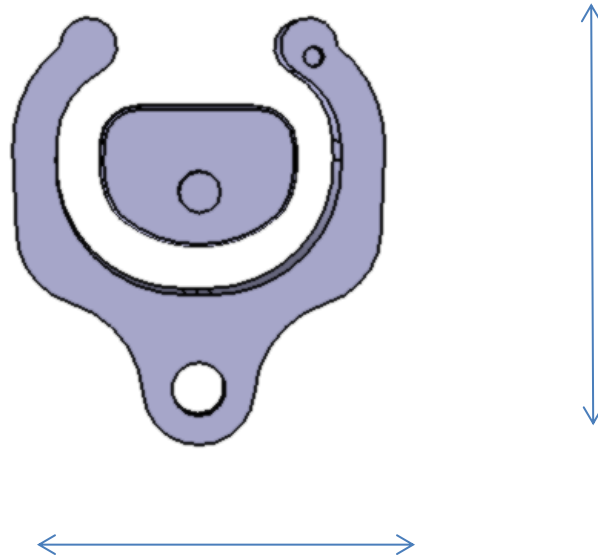
Dimensiones En cm.		PERCENTIL						
		Hombres				Mujeres		
		5 %	50 %	95 %		5 %	50 %	95 %
37	Ancho del dedo pulgar	2,0	2,3	2,5		1,6	1,9	2,1
38	Grosor de la mano	2,4	2,8	3,2		2,1	2,6	3,1

Figura 3.: Medidas de la mano (Según Norma DIN 33 402. 2º parte)



Dimensiones En cm.		PERCENTIL						
		Hombres				Mujeres		
		5 %	50 %	95 %		5 %	50 %	95 %
39	Ancho de la mano incluyendo dedo pulgar	9,8	10,7	11,6		8,2	9,2	10,1
40	Ancho de la mano excluyendo el dedo pulgar	7,8	8,5	9,3		7,2	8,0	8,5
41	Diámetro de agarre de la mano*	11,9	13,8	15,4		10,8	13,0	15,7
42	Perímetro de la mano	19,5	21,0	22,9		17,6	19,2	20,7
43	Perímetro de la articulación de la muñeca	16,1	17,6	18,9		14,6	16,0	17,7
* Las medidas corresponden al anillo descripto por los dedos pulgar e índice								

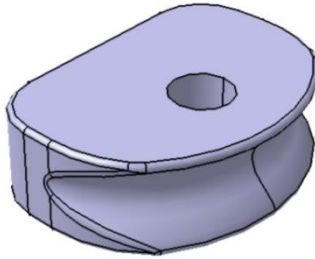
Se ha de tener en cuenta de qué manera se va a agarrar el freno así como todas las operaciones que requiere un asegurador de escalada: dar y recoger cuerda, dar cuerda rápidamente, sostener la caída del primero y el descuelgue con la palanca. Así también hay que prever que los posibles reflejos que pueda tener el asegurador en un determinado instante no interfieran en el correcto funcionamiento del freno.



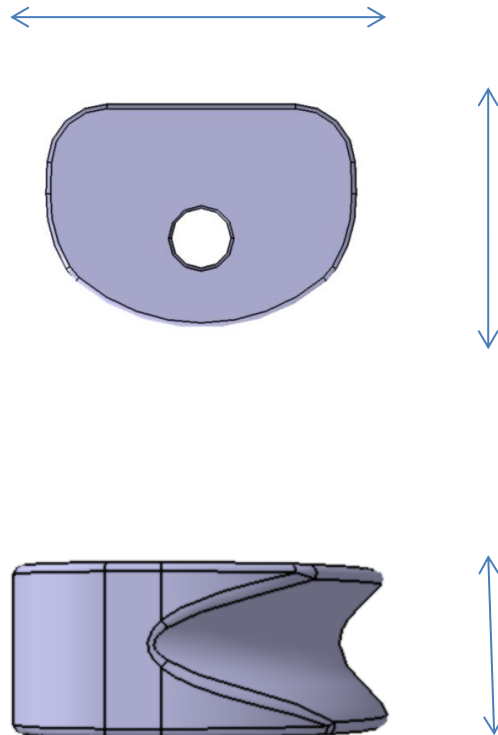
Por lo tanto teniendo en cuenta todos estos aspectos se ha calculado una longitud total de 10,5 cm y una anchura de 8,8 cm. Dimensiones que son aceptables teniendo en cuenta las dimensiones de las manos reflejados en las tablas anteriores. Por otra parte el espacio que existe entre el soporte y la leva (recorrido de la cuerda) se ha establecido en 10,7 mm pensando en el diámetro máximo de cuerda que debe acoger el freno. Y por último la leva de bloqueo tiene una anchura de 47 mm y una altura de 35 mm. Se puede observar que la idea de este diseño reside en el Grigri 1 y 2 ya que la leva es bastante parecida pero modificada un poco su forma para poder bloquear la cuerda hacia los dos lados.

7.2 Componentes

7.2.1 Leva de bloqueo:



Es el elemento más importante ya que condiciona todo el diseño de las demás piezas del producto. Se ha tenido como referencia la leva del grigri y se ha modificado su forma para que la pueda bloquear la cuerda hacia los dos lados. Como ya se ha comentado anteriormente las medidas principales de la leva se han escogido de 47 mm de anchura y 35 mm de longitud con el compromiso de diseñar un producto lo más adecuado posible para cumplir con las funciones de menor tamaño posible y mejor ergonomía a su vez.



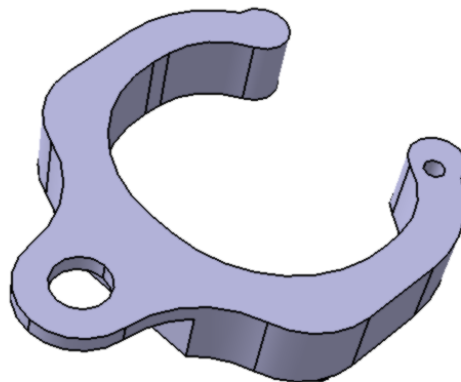
Para el perfil se ha tenido en cuenta que tiene que alojar diámetros de cuerda alrededor de 9,10 y 11 mm. Por lo tanto la altura de la leva se ha determinado en unos 15 mm. Viendo la superficie de contacto cuerda –leva la última parte se ha dejado plana para que cuando bloquee la cuerda contra el soporte comprima la cuerda.

Por otra parte tiene un orificio para alojar el eje sobre el cual se soporta todo el producto. Dicho agujero se ha mecanizado un poco por debajo de la mitad para que en el momento de bloqueo pince con mayor facilidad la cuerda contra el soporte.

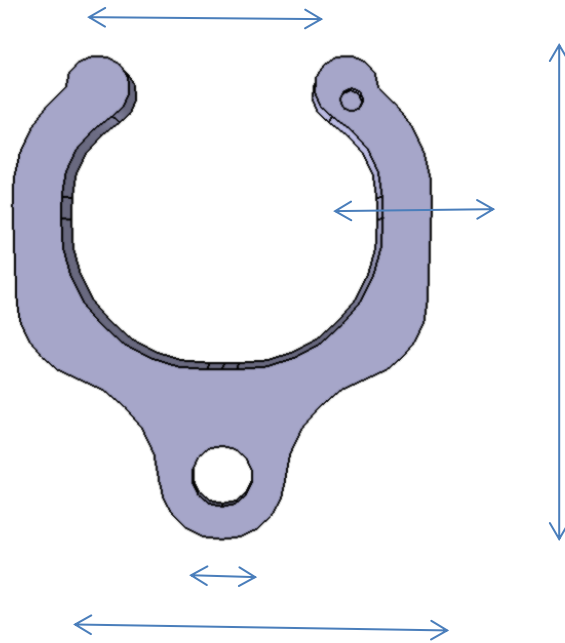
En cuanto al material se ha elegido un acero aleado 36NiCrMo16 que ha sido templado y revenido. En el apartado de elementos finitos se ha verificado es adecuado para las condiciones de trabajo.

7.2.2 Soporte:

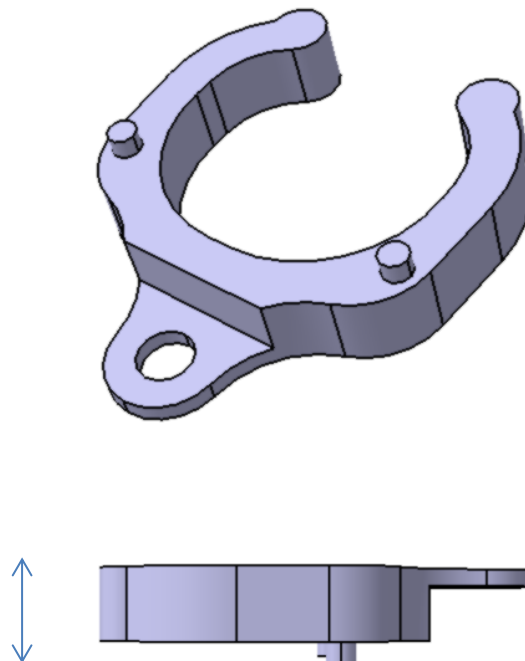
Indudablemente está muy ligado a la forma de la leva, por ello se ha seguido la curva del perfil de la leva a una distancia paralela de unos 10,7mm. Se ha dejado esta distancia pensando en los diámetros de cuerda que podrá alojar este freno. Por tanto su geometría ha resultado de la siguiente manera:



Se asemeja a la forma de una herradura con la diferencia de que debe incorporar un punto de anclaje para poder colocar el mosquetón que va unido al arnés. Para ello se ha revisado la normativa para cumplir con las medidas que debe cumplir. El agujero por tanto tiene un diámetro de 13 mm y los bordes están redondeados como indica la norma. Por otra parte el grosor de los brazos de la herradura es de unos 10 mm.



Por otra parte se ha realizado un orificio en la parte de uno de los brazos pensando en un tornillo con el que se acoplará la tapa del freno. Además en la parte trasera del soporte se han incluido dos salientes para poder colocar dos muelles antagonicos con la parte del sistema de freno.



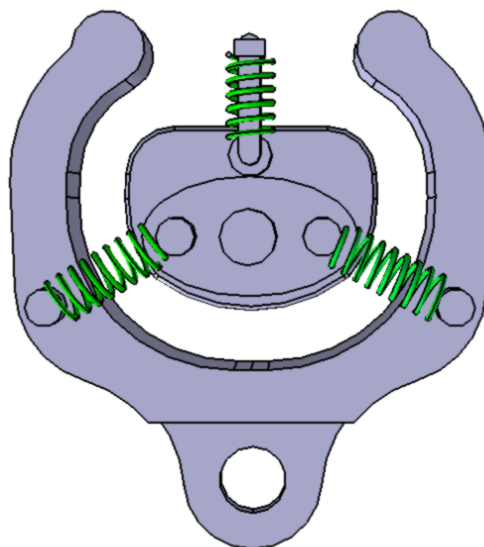
La altura del soporte se ha estimado en 17mm para cubrir la cuerda y la leva. Además en la parte interna del recorrido de la cuerda justamente en las dos zonas donde se bloquea la cuerda se han incluido dos pletinas de acero inoxidable para que el frenado se ha más uniforme y no se desgaste la cuerda.

El resto del cuerpo va a ser de PVC, ya que pesa poco, soporta muy bien todo el conjunto y presenta la rigidez necesaria.

7.2.3 Mecanismo de bloqueo de la leva:

Es el sistema que se encarga de activar la leva en caso de caída mediante una serie de muelles y un mecanismo leva (elíptica) seguidor. La leva se mueve solidariamente a la leva principal que contiene la cuerda. Su propósito es crear un momento contrario al que crea la cuerda en la leva principal cuando un escalador cae. Además ayuda a mantener la posición de equilibrio a la hora de dar y recoger cuerda. Por otro lado los dos muelles inferiores ayudan a repartir la carga y devolver la leva a su posición de equilibrio en la operación de descuelgue con la palanca trasera.

Se ha decidido en emplear muelles de tracción/compresión porque los de torsión están pensados para girar hacia un lado y este dispositivo requiere que se gire hacia los dos lados partiendo de una posición de equilibrio. Lo que tras muchos usos, los muelles de torsión se deformarían. Por lo tanto se ha optado por un mecanismo leva-seguidor que transforme el giro de la leva en la traslación de un seguidor con la resistencia de un muelle. Los dos muelles adicionales ayudan a repartir la carga y a centrar la leva a su posición de equilibrio.



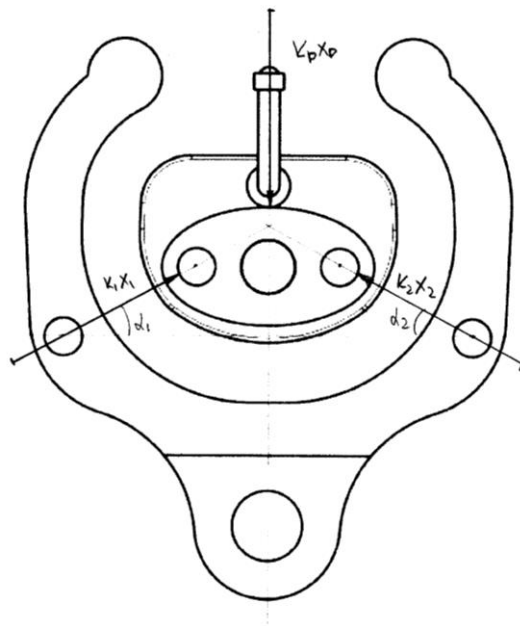
Para calcular la precarga de los muelles es necesario realizar un análisis de fuerzas de cada elemento empezando por la leva principal ya que es ahí donde actúa la fuerza exterior que pone en movimiento el sistema de frenado del asegurador. Dicho estudio concluirá con las fuerzas que actúan sobre el eje, ya que es indispensable saber todas las fuerzas que soporta el eje para poder determinar sus características.

7.2.3.1 Análisis de fuerzas:

Para el estudio de las fuerzas se van a suponer 4 estados:

1. Estudio de fuerzas sin ninguna cuerda que tire.
2. Estudio de la fuerza mínima para que la leva empiece a girar (con cuerda)
3. Estudio de fuerzas estimando las peores condiciones que se puede dar en una caída

Caso 1:



Parámetros:

- K_p : cte elástica del muelle principal
- K_1 : cte del muelle auxiliar 1
- K_2 : cte auxiliar del muelle 2
- α_1 : ángulo del muelle 1 con la horizontal
- α_2 : ángulo del muelle 2 con la horizontal
- X_p : longitud del muelle principal comprimido respecto a su longitud natural
- X_1 : longitud del muelle 1 comprimido respecto a su longitud natural
- X_2 : longitud del muelle 2 comprimido respecto a su longitud natural

Se ha considerado que los dos muelles auxiliares van a ser idénticos y el principal va a ser de distinto. Se ha considerado que los muelles auxiliares se van a tener una longitud natural de 43 mm y que se van a comprimir unos 20 mm. El principal va a tener una longitud natural de 33 mm aproximadamente y se va a comprimir 18 mm en situación de precargado.

En este caso se van a calcular las fuerzas de equilibrio estático:

Equilibrio de fuerzas en el eje x:

$$k_1 \cdot X_1 \cdot \cos(\alpha_1) - k_2 \cdot X_2 \cdot \cos(\alpha_2) = 0$$

$$K_1 \cdot X_1 = k_2 \cdot X_2$$

$$K_1 = K_2$$

$$X_1 = X_2$$

Equilibrio de fuerzas en el eje y:

$$k_1 \cdot X_1 \cdot \sin(\alpha_1) - k_2 \cdot X_2 \cdot \sin(\alpha_2) - K_p \cdot X_p = 0$$

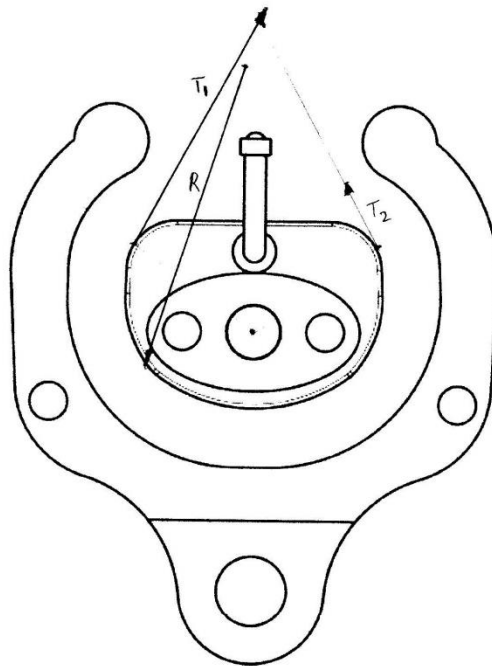
$$\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha$$

$$2K_p \cdot \sin(\alpha) = K_p \cdot X_p$$

$$K_p = \frac{K_p \cdot X_p}{2K_p \cdot \sin(\alpha)}$$

Se tienen todos los parámetros menos K_p . Esta K_p hay que hallarla a partir del caso 2. A través de la fuerza mínima que hace falta para que empiece a girar la leva se podrá hallar K_p . Para ello se ha estimado que la fuerza a partir de la cual se empezará a mover el mecanismo es de unos 5 kilos de fuerza, es decir 50 N. Este dato se introducirá en forma de tensión.

Caso 2:



En la figura arriba mostrada se ha realizado un análisis de de fuerza sobre el tramo de cuerda que rodea la leva de bloqueo. Estos son los cálculos necesarios realizados:

$$T1=50N$$

$$\frac{T1}{T2}=e^{\sigma \cdot \mu}$$

Dónde:

- T1: es la fuerza en el lado del escalador→50N
- T2: fuerza en el lado del asegurador
- σ : ángulo de contacto entre cuerda y leva→200 grados
- μ :coeficiente de rozamiento estático→0.3

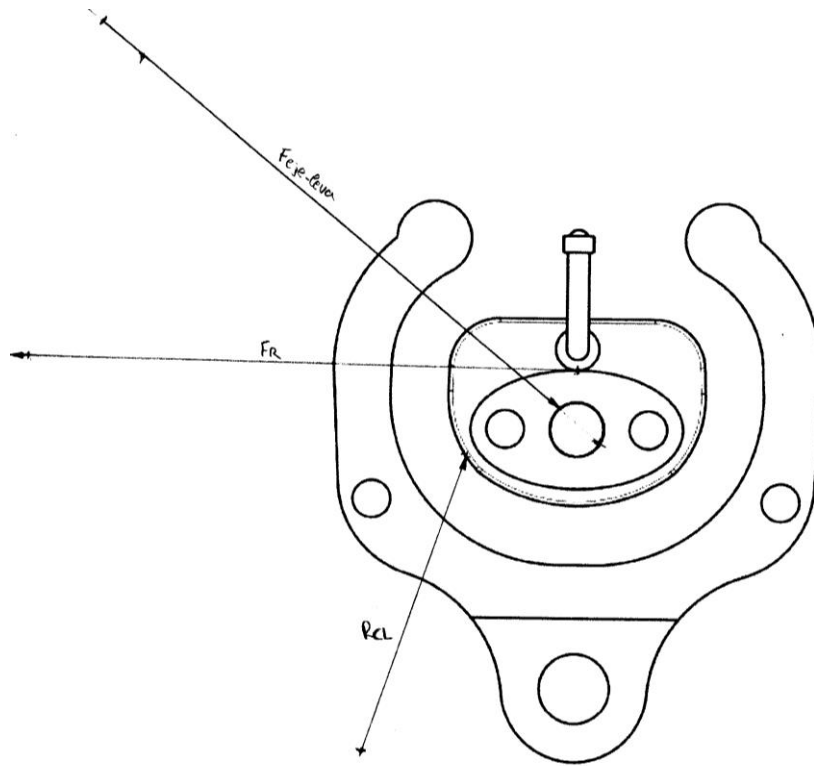
$$\sigma(\text{rad})=250 \cdot \frac{2\pi}{360}=4.36$$

$$\mu=0.3$$

$$\frac{T1}{T2}=e^{\sigma \cdot \mu}=3.7$$

$$T2 = \frac{T1}{3.7} = \frac{50}{3.7} = 13.5\text{N}$$

Mediante el diagrama libre de fuerzas se ha calculado la fuerza resultante que realiza la leva sobre el trozo de cuerda. Esta fuerza es necesaria para hallar el análisis de fuerzas sobre la leva que se muestra a continuación.



Se ha planteado la ecuación de momentos respecto al centro de giro:

$$R \cdot l1 = Fr \cdot r$$

$$Fr = \mu \cdot N = \mu \cdot Kp \cdot Xp$$

$$R \cdot l1 = \mu \cdot Kp \cdot Xp \cdot r$$

Dónde:

l1: distancia mínima entre el centro de giro y el punto de aplicación de R

$$l1 = 0.018\text{m}$$

r: distancia mínima entre el centro de giro y el punto de aplicación de Fr

$$r = 0.018\text{m}$$

μ : coeficiente de rozamiento entre la leva y la cuerda. Se ha estimado en 0.26 tras haber mirado unas tablas de referencia.

Sustituyendo se despeja Kp

$$K_p = \frac{R \cdot l_1}{\mu \cdot X_p \cdot r} = 22307 \frac{N}{m} = 22.3 \frac{KN}{m} = 22.3 \frac{N}{mm}$$

Con Kp se ha podido completar el diagrama del cuerpo libre de la leva y se ha podido calcular la fuerza que realiza el eje sobre la leva. Mirar figura anterior.

$$F_R = 104.3N$$

$$F_{\text{eje-leva}} = 105 N$$

Con el valor Kp obtenido se han podido determinar las cte de los muelles del caso 1 mediante la ecuación siguiente:

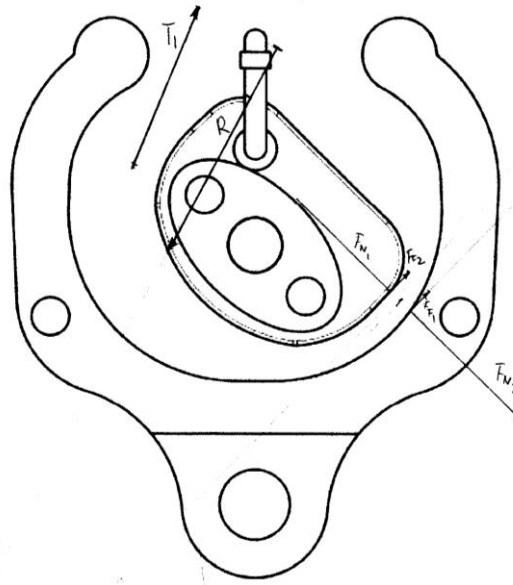
$$K_p = \frac{K_p \cdot X_p}{2K_p \cdot \text{SEN}(\alpha)} = \frac{22300 \cdot 0.018}{\text{SEN}(35) \cdot 2 \cdot 0.02} = 17.5 \frac{KN}{m} = 17.5 \frac{N}{mm}$$

Y de la misma manera las fuerzas que realizan esos muelles cuando la no hay ninguna cuerda que tire:

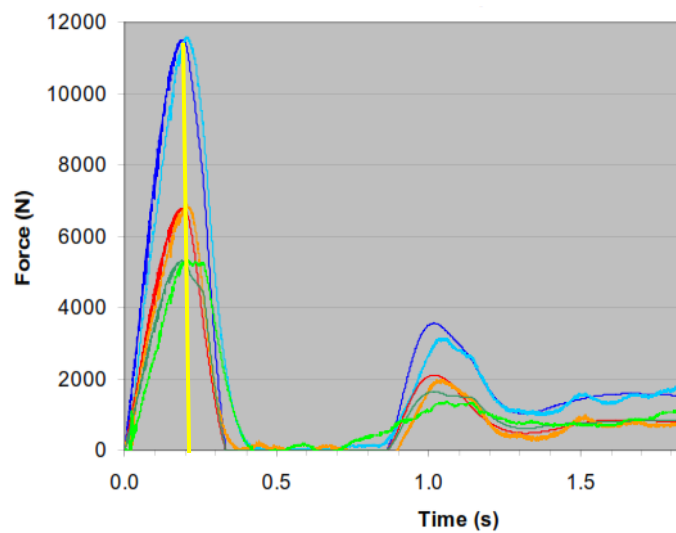
$$K_1 \cdot X_1 = K_2 \cdot X_2 = 17.5 \cdot 0.02 = 0.35KN = 350N$$

$$K_p \cdot X_p = 22.3 \cdot 0.018 = 400N$$

Caso 3:



Se ha estimado que este instante coincide con el momento de tensión máxima que sufre la cuerda en una caída. Véase el siguiente gráfico para ilustrar el momento:



- Curva azul: fuerza que sufre el último seguro
- Curva roja: fuerza que sufre el escalador(fuerza de choque de la cuerda durante toda la caída)
- Curva verde: fuerza que sufre el asegurador. En la gráfica el asegurador ve una fuerza de alrededor de 5000 N en el instante de máxima tensión.

Para el caso 3 se ha estimado una fuerza de 8000 N que supone una fuerza muy grande que raramente se alcanzará en escalada. Se han considerado despreciables las fuerzas de los muelles y la Fr de la rueda comparándolo con esta fuerza.

Por lo tanto se ha realizado un análisis de fuerzas sobre el tramo de cuerda que rodea la leva en el instante de máxima tensión. En ese momento se ha tomado que la leva ha bloqueado (pinzado la cuerda). Véase de nuevo la figura del caso 3.

Por otra parte a la hora de realizar los cálculos no se ha considerado que T1 igual a 8KN ya que primeramente la cuerda tiene un ángulo de contacto con el soporte redondeado. Empleando la ecuación del cabestrante la tensión ha disminuido hasta 6.3 KN suponiendo que el ángulo de contacto igual a 45 grados.

$$\frac{T_0}{T_1} = e^{\sigma \cdot \mu} = 1.26$$

Dónde:

- T0=8KN
- T1=incógnita
- σ : 45 grados
- μ : 0.3

$$T_1 = \frac{T_0}{1.26} = 6.3 \text{KN}$$

En la zona de pinzamiento de la cuerda, ésta sufre una fuerza adicional de compresión por parte de la leva y el soporte. Se ha considerado que estas fuerzas de compresión son iguales pero de dirección contraria por lo que se anulan. A la hora de emplear la ecuación del cabestrante la tensión en la zona de bloqueo es la fuerza de fricción que sufre la cuerda en esa zona. Por tanto:

$$\frac{T_1}{F_f} = e^{\sigma \cdot \mu} = 2.85$$

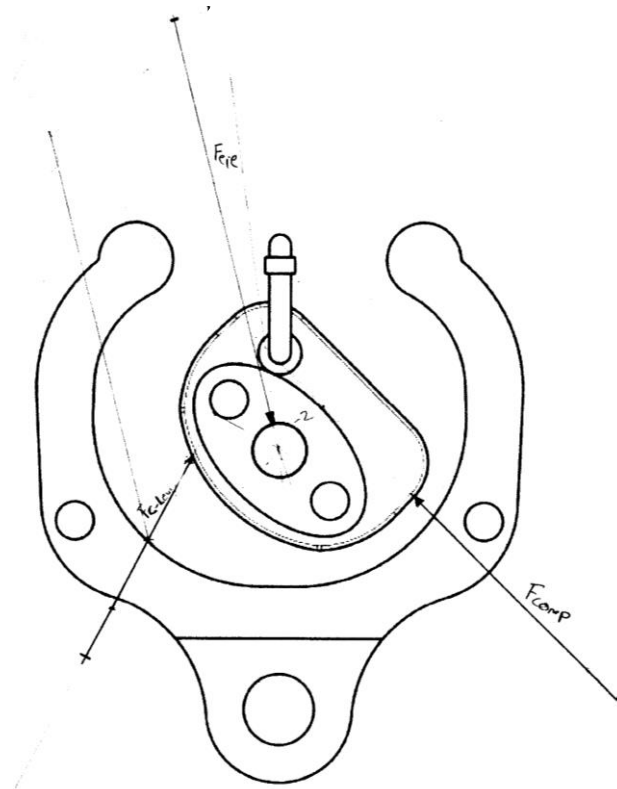
Dónde:

- T1=6.3
- σ : 200 grados
- μ : 0.3

Despejando la Ff:

$$F_f = \frac{T_1}{2.85} = 2.21$$

Ya se tienen todos los datos para completar gráficamente el análisis de fuerza del caso 3. Se ha despejado la fuerza resultante que ejerce la leva sobre la cuerda y a continuación se ha realizado un análisis de fuerzas sobre la leva. En la siguiente figura se muestra gráficamente la resolución del análisis.



Fuerzas resultantes

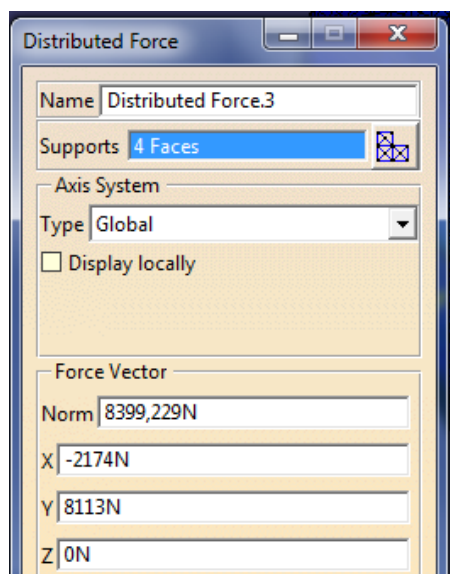
- $F_{\text{cuerda-leva}} = 8.4 \text{ KN}$
- $F_{\text{compresión}} = 10.6 \text{ KN}$
- $F_{\text{eje-leva}} = 15.4 \text{ KN}$

7.2.3.2 Simulación de elementos finitos (CATIA)

Simulación de elementos finitos en Catia para el caso en que el freno trabaja en las peores condiciones. Para ello se han introducido las fuerzas del caso 3 en Catia y se ha estudiado sus tensiones. Al introducir las 2 fuerzas que actúan sobre la leva, estas se han distribuido a lo largo de su superficie para simular la fuerza de contacto entre la cuerda -leva. Por un lado se ha distribuido una fuerza a lo largo de la superficie en u de la leva simulando la fuerza de la cuerda que abraza a toda ella. Y por otro lado se ha distribuido la fuerza de pinzamiento de la leva en la "zona de pinzamiento". No se ha tenido en cuenta la fuerza que ejerce los muelles porque sus valores son despreciables comparándolos con los de la cuerda.

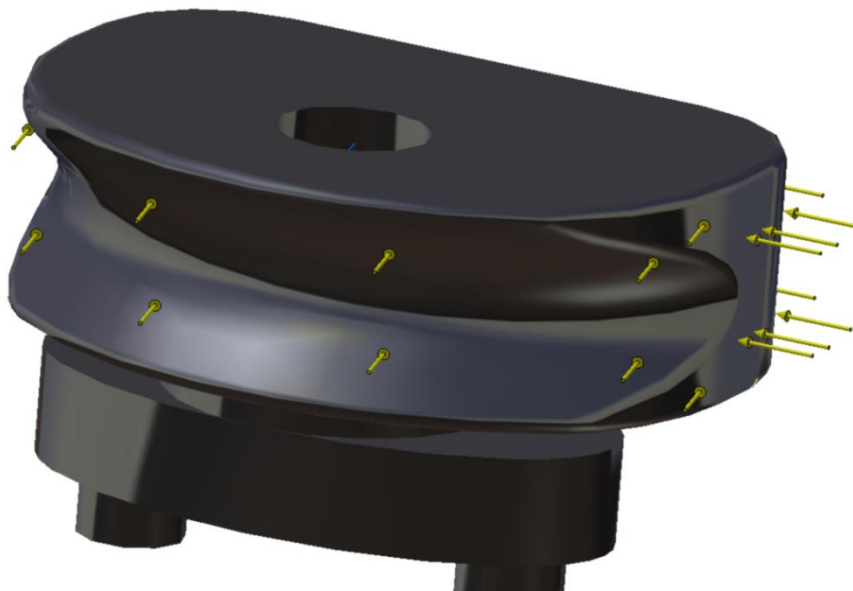
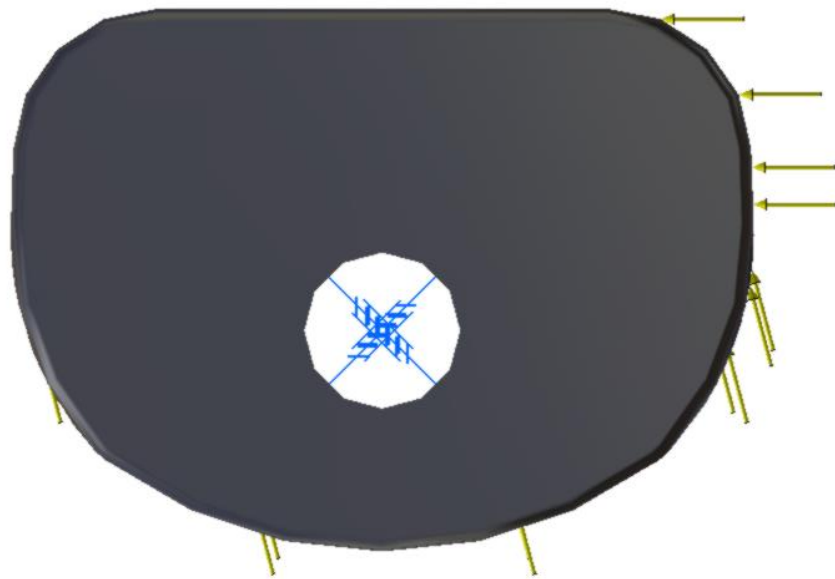
Para realizar un análisis de elementos finitos hay que emplear el módulo de *Generative Structural Analysis* y hay que aplicar un material para poder realizar el análisis. Se ha elegido como tal un Acero Steel 250Mpa. En realidad después con los resultados obtenidos y mediante una teoría de análisis de fatiga se elegirá el material final de la pieza.

Para introducir las fuerzas en Catia con la herramienta *loads* se ha elegido el icono de distributed force y se ha tecleado las componentes de las fuerzas del estudio 3 teniendo en cuenta los ejes establecidos en Catia. Por ejemplo para introducir la fuerza de la cuerda sobre la leva en la superficie en "u" los datos se han introducido de la siguiente manera:



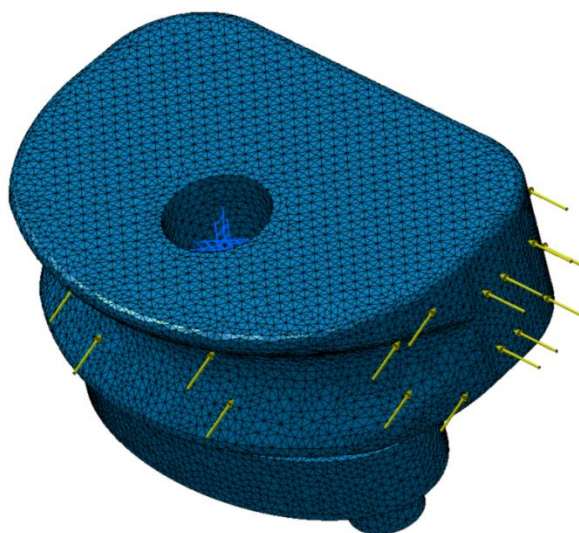
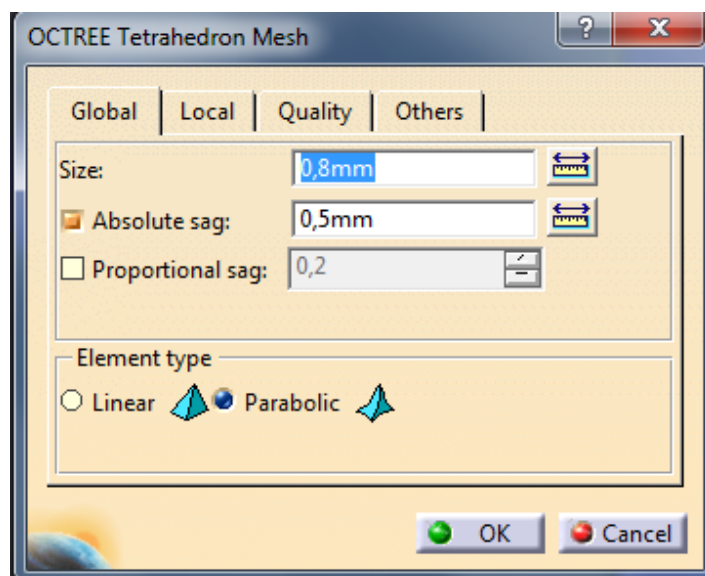
De la misma forma se han introducido los datos en la zona de pinzamiento y la leva queda de la siguiente manera.

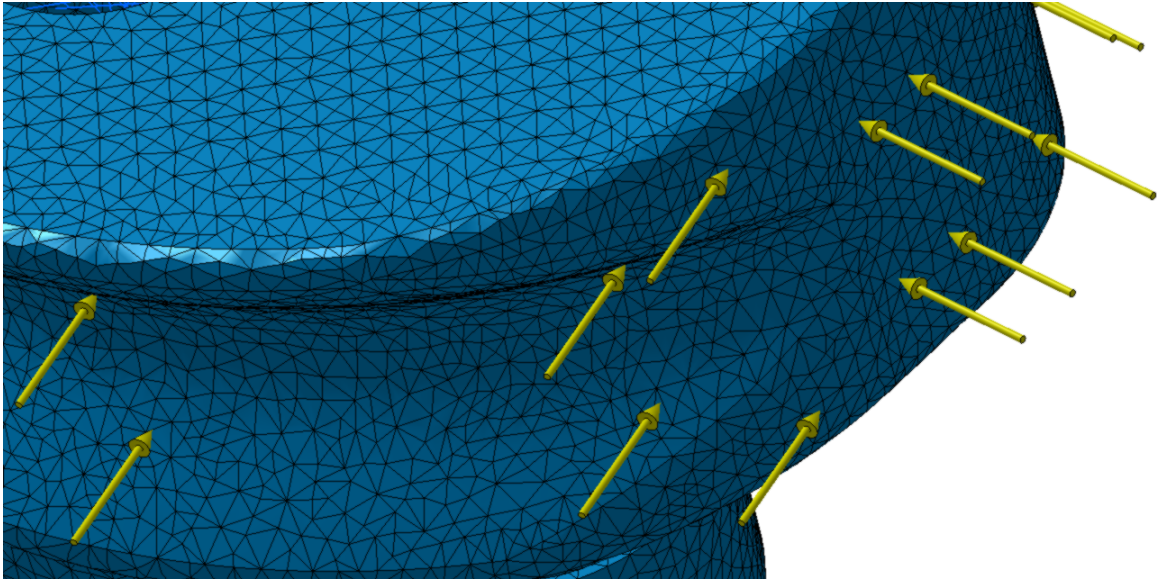
En la siguiente imagen se ilustra la leva con las 2 fuerzas distribuidas.



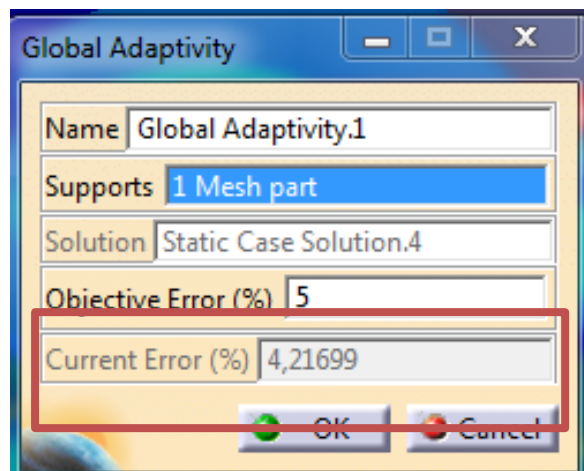
Como se puede observar en la primera figura se ha empleado un empotramiento para simular el eje del asegurador. Hay que recordar que justo en ese instante es el de tensión máxima de la cuerda y la leva ya no gira respecto al eje. Está totalmente bloqueado.

Para el análisis se ha mallado la leva con elementos tetraédricos parabólicos con las siguientes medidas

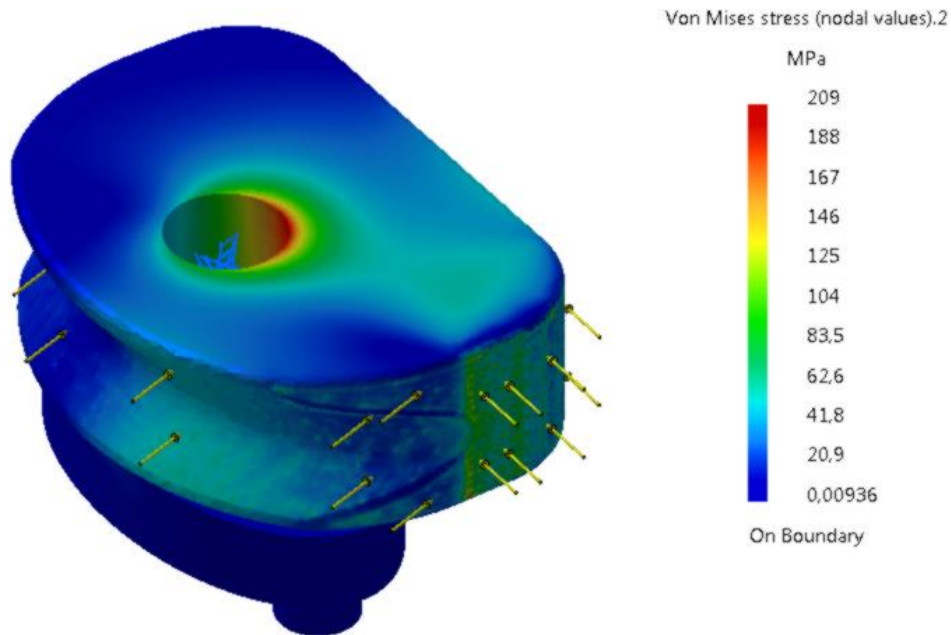




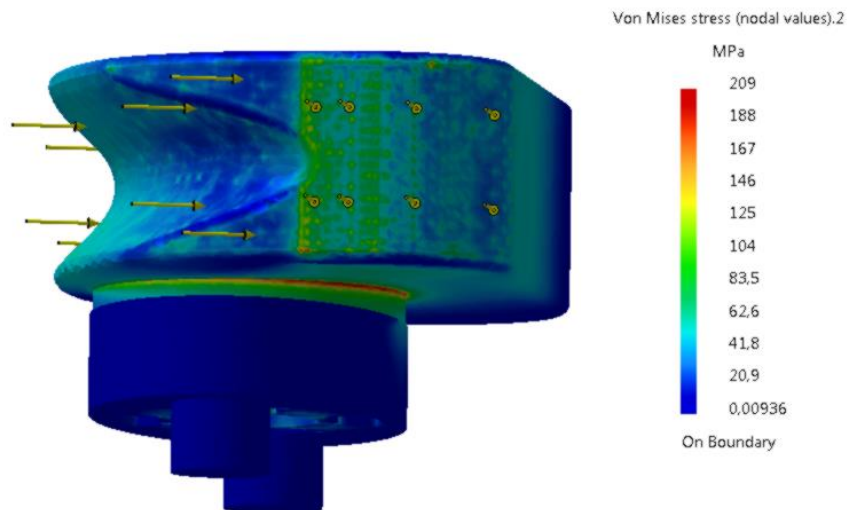
Para el mallado se han probado distintas medidas hasta comprobar que los resultados (tensiones, desplazamientos...) eran muy parecidos. Existe un sensor que indica el error global que se comete con los resultados obtenidos. Se ha ido ajustando por lo tanto el mallado hasta obtener un error global del 4.21%. Además se puede emplear una herramienta del programa llamada *Adaptivity* para establecer el error objetivo que se quiere alcanzar. Para errores menores que un 5% el mallado se considera muy bueno, para errores entre 5-10% el mallado es bueno y para mayores que el 10% el mallado no es aceptable. Como se puede observar en este caso se ha obtenido un mallado muy bueno



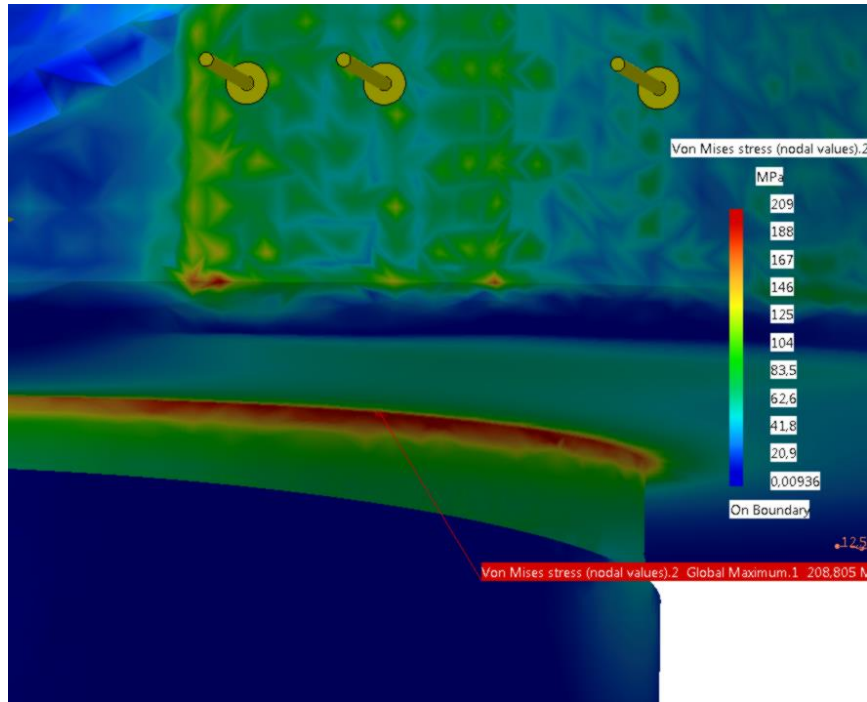
Mapa de tensiones equivalentes de Von Misses



Observamos que las zonas más críticas son las de alrededor del eje ya que se trata de una concentración de tensiones. Lo mismo ocurre en la parte inferior de la leva debido a un cambio brusco de diámetro.

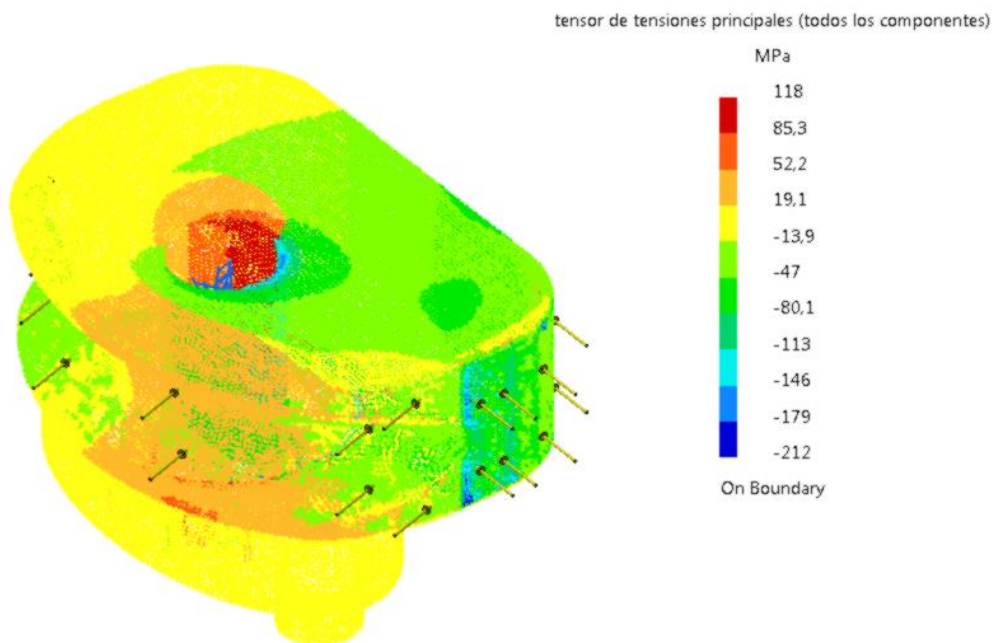


La siguiente figura muestra la máxima tensión equivalente de Von Misses (209Mpa) que se encuentra en la parte inferior de la leva en la zona del cambio brusco de diámetro. Se ha realizado un zoom para observar con mayor detalle la zona de concentración de tensiones.



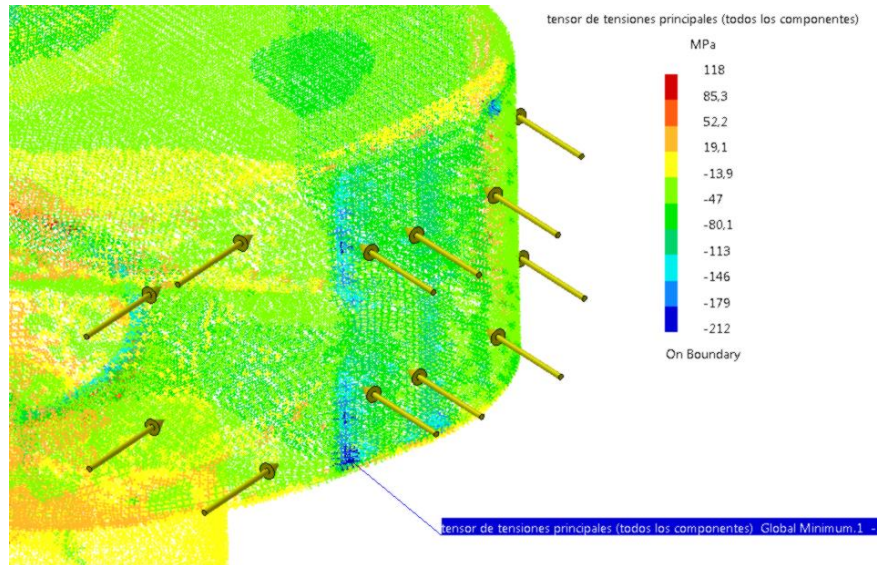
Tensiones principales

A continuación se va presentar las tensiones principales de todos los nodos en conjunto.



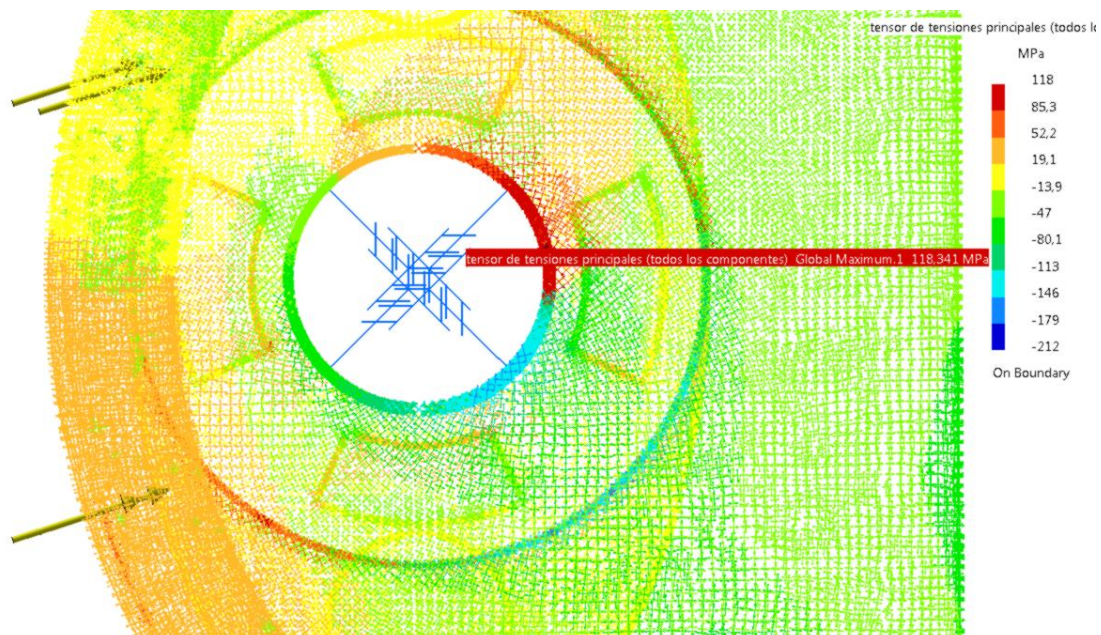
En general las tensiones son de compresión aunque también se observan zonas de color naranja o roja y sobre todo en las zonas de concentración de tensiones cercanas al eje y la zona de cambio brusco de diámetro.

La zona de máxima tensión ocurre en la zona de pinzamiento de la cuerda, como es lógico, ya que ahí se ejerce una fuerza de compresión muy alta. Por lo tanto en esa parte se da la máxima tensión de compresión con un valor absoluto de 212 Mpa.



Se puede observar como las líneas verticales azules en esa parte del pinzamiento tienen valores similares a 212 Mpa. Por otro lado cabe destacar que las máximas tensiones de compresión son mayores a las a las máximas de tracción de la en la zona del eje (118Mpa)

La máxima tensión de tracción ocurre en un punto de la parte superior en el perímetro del agujero con un valor igual de 118 Mpa.

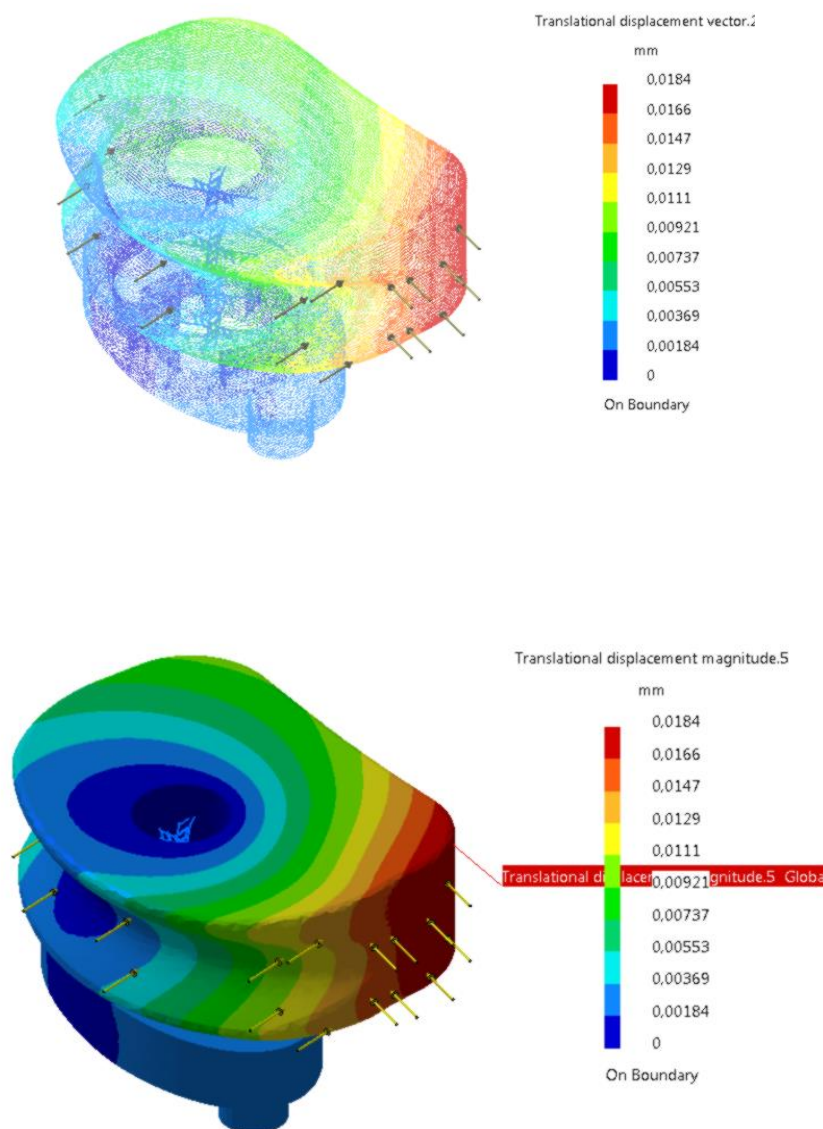


No obstante podemos observar que a lo largo del perímetro del agujero las tensiones cambian desde alrededor de unos -130 Mpa en la zona de compresión (color azul celeste) hasta 118 Mpa en la zona de tracción (color rojo)

La misma distribución de colores aparece en la zona brusca de disminución de diámetro pero con unos valores menores en el caso de la zona de tracción.

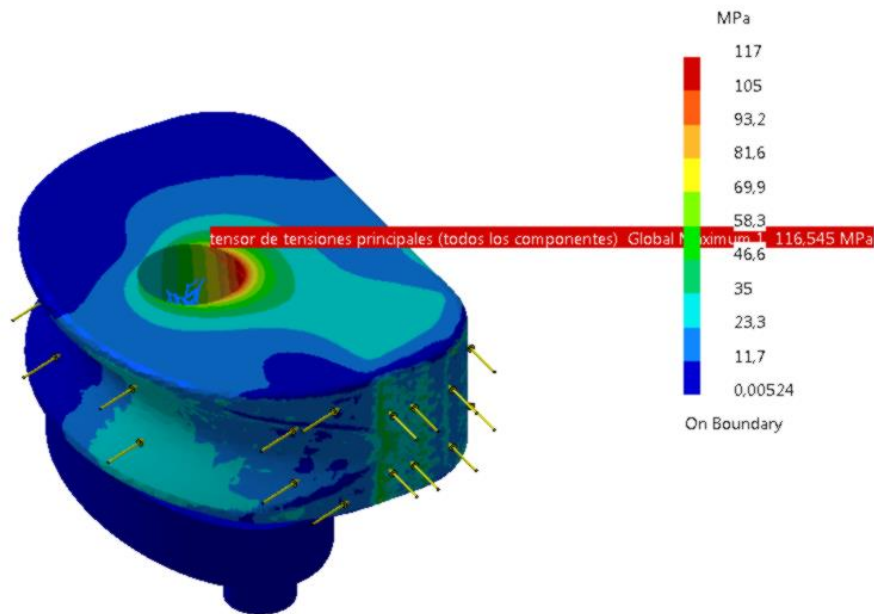
Desplazamientos

Como es lógico en la zona de pinzamiento los nodos han sufrido los mayores desplazamientos porque en esa zona se concentra la fuerza máxima que sufre la leva. Además la distribución de los colores da una idea de cómo se deforma la pieza y cómo actúan las fuerzas.



Los desplazamientos son mínimos donde el desplazamiento máximo es igual a 0.0184 mm

Tensiones cortantes principales



Las máximas tensiones cortantes se dan en la zona de concentración de tensiones en la parte roja del dibujo con un valor de 117 Mpa. En la zona de disminución de diámetro la distribución de tensiones cortantes es similar.

7.2.3.3 Discusión de los resultados

Las tensiones máximas que sufre esta pieza son de compresión y ocurren en la zona de pinzamiento de la cuerda. La máxima tensión de compresión es del orden de 212 Mpa. Las tensiones máximas de tracción se encuentran en el agujero donde va colocado el eje con un valor máximo de 118Mpa. En la misma zona la tensión cortante máxima es de 117 Mpa

Además a través de las tensiones equivalentes de Von Misses se han detectado dos zonas concentradoras de tensiones. Una es la parte del agujero donde se monta el eje y la otra es la parte trasera de la leva tras el cambio brusco de diámetro. Estas zonas serán clave a la hora de elegir el material ya que en esas dos zonas se dan las máximas tensiones de Von Misses.

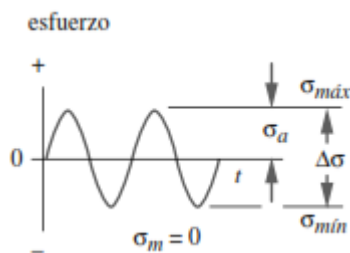
7.2.3.4 Análisis de fatiga de la leva

La mayoría de los elementos de máquinas fallan bajo cargas variables en el tiempo. Tales fallas ocurren súbitamente y a tensiones muy menores al límite elástico del material. Esto ocurre cuando se ha empleado una teoría de fallas estáticas para piezas que trabajen con cargas dinámicas. Por ello en este caso es necesario emplear una teoría de falla para cargas dinámicas.

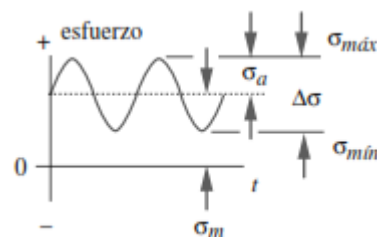
Tipos de cargas dinámicas

Alternantes y fluctuantes

Alternantes:

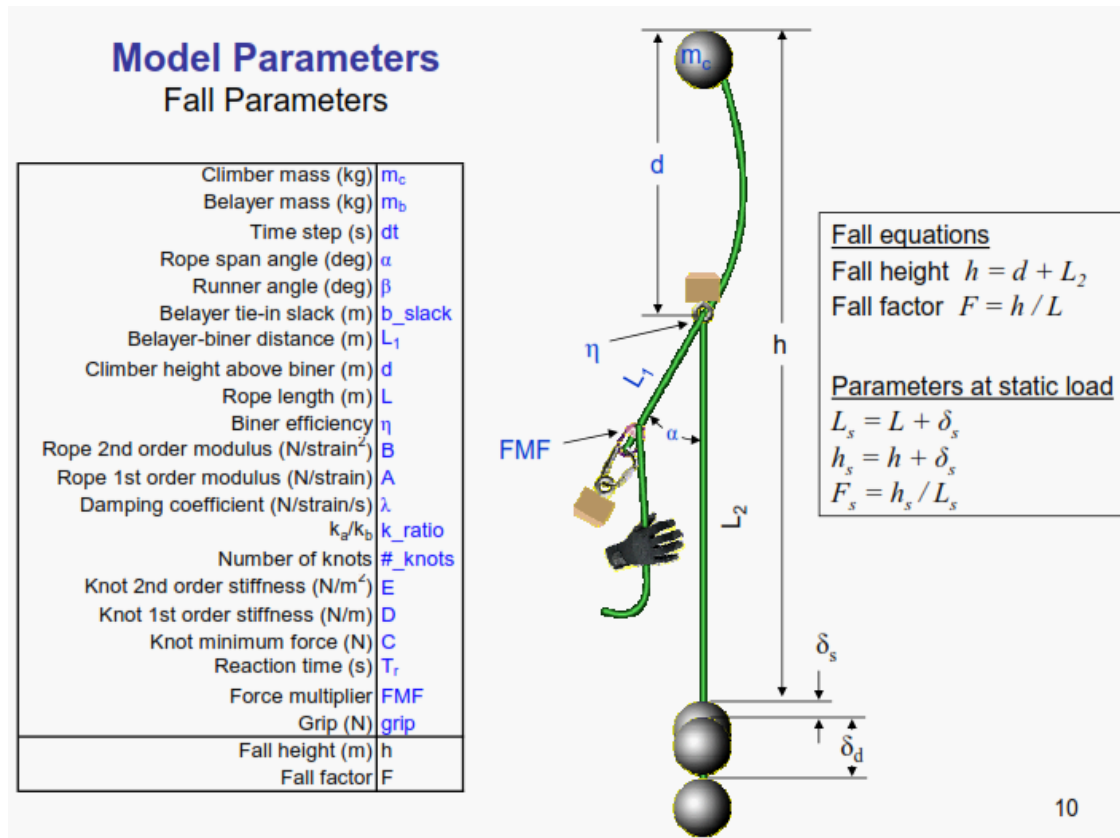


Fluctuantes:

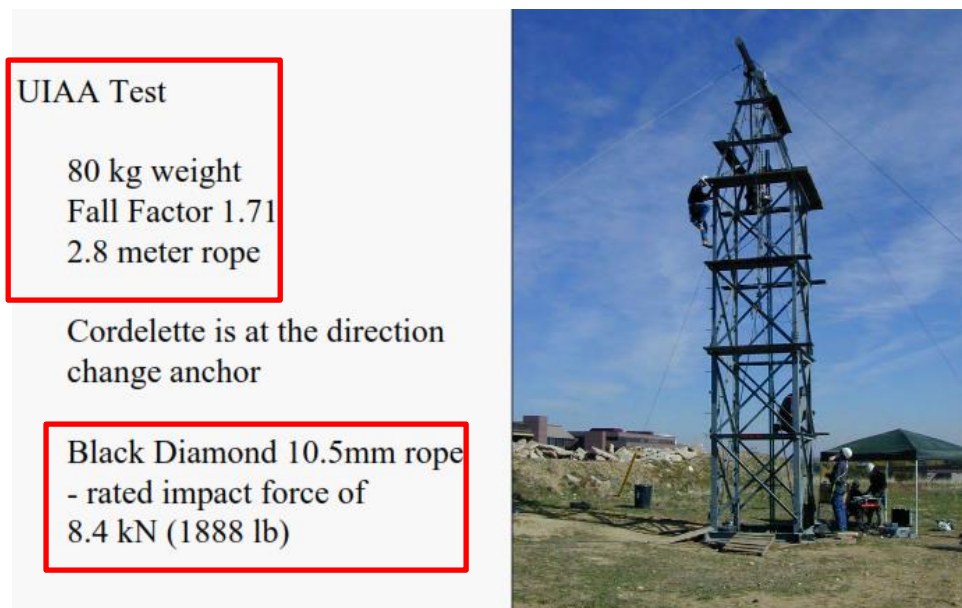


Las fluctuantes tienen una componente media cte durante el tiempo de carga mientras que las alternantes no soportan tensión media alguna.

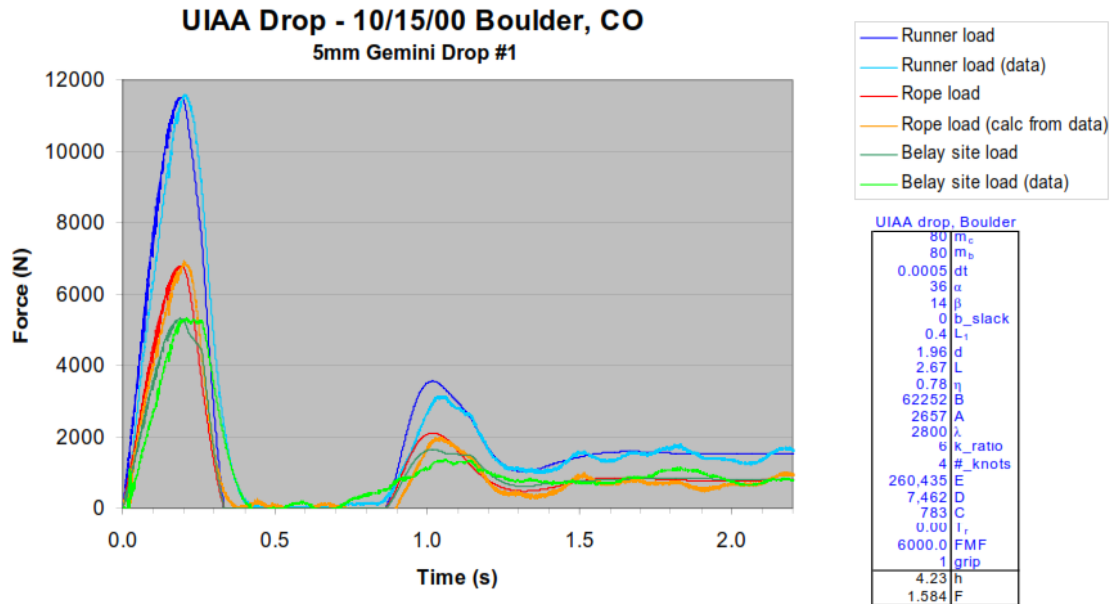
A continuación se muestra un modelo creado por T.Moyer que intenta simular el comportamiento elástico de las cuerdas aplicado a las caídas de escalada. En él se especifica todos los parámetros que entran en juego: masa del escalador, masa del asegurador, longitud de cuerda empleada, eficiencia del mosquetón, coeficiente de amortiguamiento, número de nudos, altura de la caída, factor de caída, factor FMF...



Pero lo más importante es la aplicación de ese modelo a un escenario real en donde dibuja las gráficas correspondientes a las cargas que sufre el mosquetón, la cuerda y el asegurador. En la siguiente imagen se muestra el escenario real con las condiciones del ensayo.

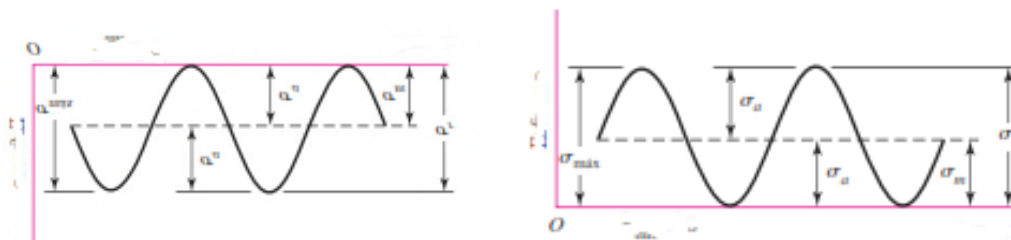


Los resultados del ensayo comparando los datos reales con los del modelo son:



Se puede observar como la suma de las curvas roja y verde dan la azul. Es lógico ya que el mosquetón sufre a la vez la fuerza proveniente del asegurador y la fuerza de choque transmitida al escalador. En los parámetros del modelo se puede observar que el FMF es igual a 6000 y esto es igual a decir que la caída se ha asegurado estáticamente. El sistema de freno que se está diseñando se asemeja más a esta condición.

La curva que interesa más para el objeto de este estudio es la verde, ya que corresponde a la carga que sufre el asegurador. En el apartado anterior se ha realizado un análisis de fuerzas de la leva que correspondería al el pico máximo en la curva verde. En ese instante todos los nodos están trabajando bajo la carga máxima por lo tanto están viendo la tensión máxima. Se estima por tanto que todos los nodos van a trabajar siguiendo el siguiente esquema de carga fluctuante donde la tensión media será la mitad de la tensión máxima. De esta manera todos los nodos van a trabajar por debajo o por encima del eje horizontal, pero nunca se va a dar el caso en el que un nodo trabaje a tracción y a compresión durante el mismo ciclo. Es decir que las dos posibilidades de trabajo son:



Curvas S-n (o de Wohler)

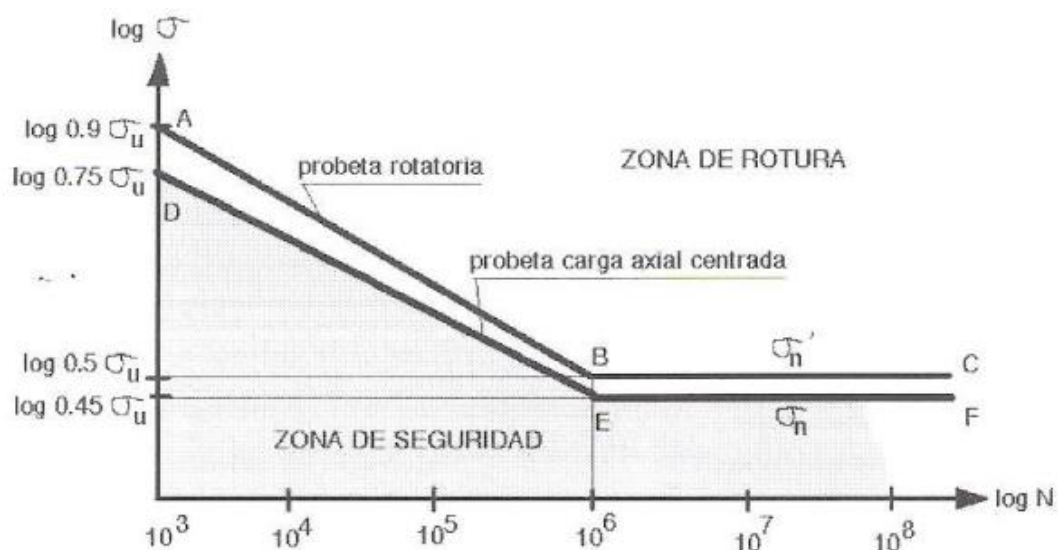
Las teorías de fallas emplean las curvas S-N o diagrama de Wohler para determinar el comportamiento del material bajo solicitaciones dependientes del tiempo. Se trata de un modelo esfuerzo-vida el cual busca determinar una resistencia de fatiga o un límite de resistencia a la fatiga para el material, de modo que los esfuerzos cíclicos se mantengan siempre por debajo de ese nivel.

Regímenes de fatiga

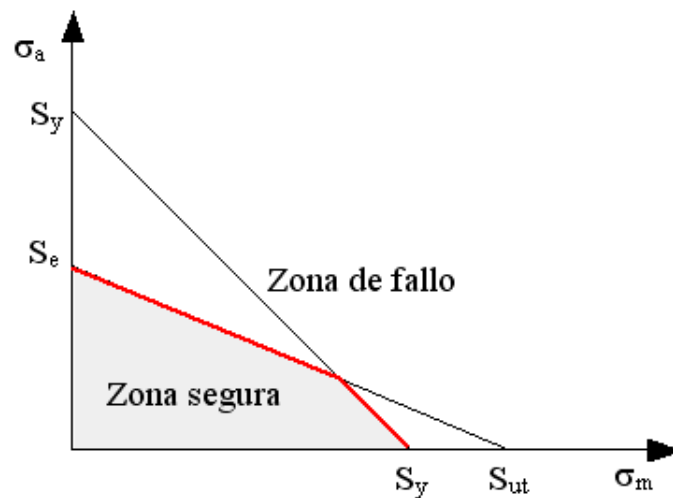
Con base al número de ciclos de esfuerzos a los que trabajará la pieza durante su vida útil, se clasifican los regímenes de fatiga como:

- Fatiga de ciclo bajo (LCF): cuando el n° de ciclos de la pieza se espera menor a 10^3 .
- Fatiga de ciclo alto (HCF): cuando la pieza va a trabajar a mayores ciclos que 10^3 . A partir de 10^6 ciclos el límite de fatiga no varía, por lo tanto si los esfuerzos cíclicos a los que está sometido no sobrepasan dicho límite se dice que éste tiene vida infinita

En este caso se considera que el asegurador de escalada va a trabajar en el régimen de fatiga de ciclo alto pero sin llegar a los 10^6 ciclos, por lo que el punto de partida en las curvas S-N serán los 1000 ciclos. A continuación se muestra una gráfica de S-N. Las curvas S-N suelen tener una forma curva por lo que si los resultados se representan en escala logarítmica la curva se convierte en dos tramos largos, uno inclinado y otro horizontal.



No obstante estas curvas se emplean en el caso de cargas alternantes que no es nuestro caso. Para las cargas fluctuantes se emplean otras curvas más adecuadas que tienen en cuenta las tensiones medias. Entre ellas se encuentra la **Línea de Goodman** (modificada).



En el eje de abscisas se colocan las tensiones medias y en la ordenada las alternantes correspondientes al nodo más desfavorable de la pieza. Si la combinación (σ_m, σ_a) cae dentro de la zona roja entonces la pieza no fallará para el nº de ciclos establecido. Las tensiones que se emplean son de Von Mises. En el análisis de fuerzas realizado anteriormente se ha obtenido una tensión máxima de Von Mises de 209Mpa. Por lo tanto:

$$\sigma'_m = 104.5 \text{ Mpa}$$

$$\sigma'_a = 209 \text{ Mpa}$$

Factores de corrección de la resistencia a la fatiga

Los valores teóricos de la resistencia a la fatiga (S'_f) y del límite de la resistencia a la fatiga (S'_e) se obtienen al ensayar unas probetas de características determinadas, bajo ciertas condiciones de carga. Estos valores deben de modificarse para tener en consideración las diferencias entre la probeta y la pieza real que se está diseñando. Para tener en cuenta estos efectos se multiplican los valores teóricos de resistencia a la fatiga o límite de resistencia a la fatiga por unos coeficientes de reducción de resistencia, con la finalidad de obtener los valores reales de la pieza (S_f) o (S_e).

$$S_e = C_{\text{carga}} \times C_{\text{tamaño}} \times C_{\text{sup}} \times C_{\text{temp}} \times C_{\text{conf}} \times S'_e = C_e \times S'_e$$

$$S_f = C_{\text{carga}} \times C_{\text{tamaño}} \times C_{\text{sup}} \times C_{\text{temp}} \times C_{\text{conf}} \times S'_f = C_e \times S'_f$$

Para hallar el límite de resistencia a la fatiga (S_e) primero hay que elegir el material con el que se fabricará el producto. Debido a las grandes cargas que la leva debe de soportar en el momento máximo de tensión en una caída y teniendo en cuenta que el tamaño de la leva es bastante pequeño se va a elegir un acero aleado que ha sufrido un tratamiento de temple y revenido (+QT), concretamente un acero 36NiCrMo16 cuyas características se determinan en la norma EN10083:

- Límite elástico (S_y)=1050Mpa.
- Límite de rotura (S_{ut})=1400Mpa.

Además hay que establecer el nº de ciclos que debe soportar la pieza durante su vida. Se ha establecido un nº de ciclos igual a 100000(más que suficiente).

De acuerdo a la cantidad de ensayos de probetas de materiales empleados en construcción de maquinaria se han establecido una serie de relaciones empíricas de suficiente aproximación y de uso generalizado en diseño de máquinas. De acuerdo con estas relaciones se puede establecer el límite de resistencia a la fatiga del 36NiCrMo16:

$$\text{aceros: } \begin{cases} S_e \cong 0.5 S_{ut} & \text{para } S_{ut} < 200 \text{ kpsi (1 400 MPa)} \\ S_e \cong 100 \text{ kpsi (700 MPa)} & \text{para } S_{ut} \geq 200 \text{ kpsi (1 400 MPa)} \end{cases}$$

Como el límite de rotura del material elegido es igual a 1400Mpa $\rightarrow S'_e=700\text{Mpa}$

Efecto de carga: se considera que la leva está sometida a fuerzas de flexión y torsión por lo que el coeficiente de carga es igual a 1.

$$C_{carga} = 1$$

Efectos dimensionales: aunque la pieza no es totalmente cilíndrica se va a tomar como tal y se va a emplear la fórmula para piezas cilíndricas cuyo diámetro está entre 8 y 250 mm. Se tomará el diámetro de la leva $D=40\text{ mm}$

$$C_{tamaño} = 1.189 \times D^{-0.097} = 0.83$$

Efectos superficiales: se va a suponer un rectificado por lo que los coeficientes a aplicar en la fórmula del coeficiente de superficie van a ser

Acabado superficial	Para S_{ut} en MPa se usa	
	A	b
Esmerilado	1.58	-0.085
Maquinado o rolado en frío	4.51	-0.265
Rolado en caliente	57.7	-0.718
Forjado	272	-0.995

$$C_{sup} = A \times (S_{ut})^b = 1.58 \times 1400^{-0.085} = 0.853$$

Efectos de temperatura: como el asegurador va a trabajar siempre bajo una temperatura inferior a 450° el coeficiente de temperatura es igual a la unidad.

$$C_{temp} = 1$$

Confiabilidad: se va a suponer un nivel de confiabilidad del 99.9% por lo que el coeficiente va a ser 0.753.

$$C_{conf} = 0.753$$

El Cequivalente resulta igual a:

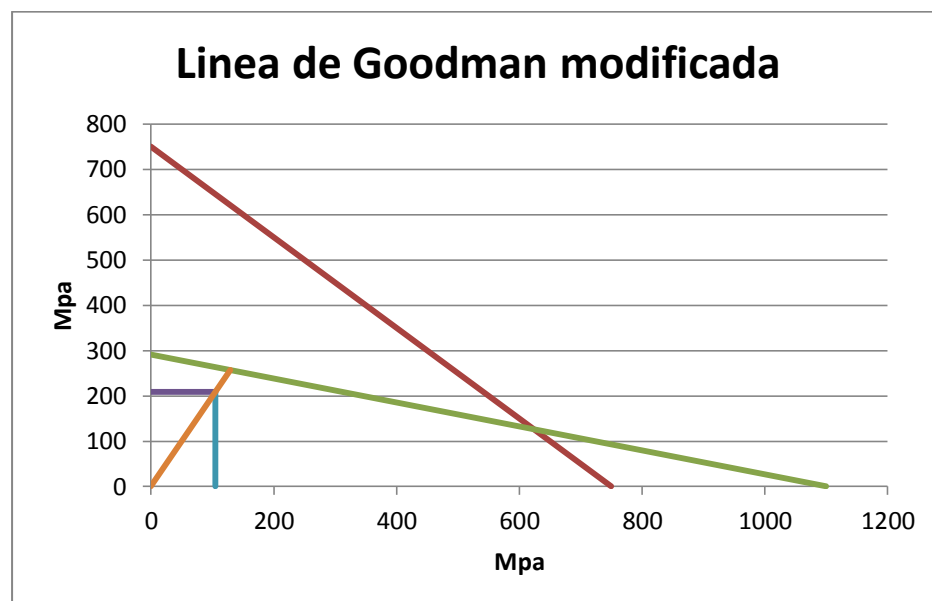
$$C_e = 0.53$$

Por lo tanto ya puedo calcular Se:

$$S_e = C_e \times S'_e = 0.53 \times 700 = 371\text{Mpa}$$

Para dibujar el diagrama de Goodman se necesita los siguientes datos:

- $S_e=371\text{Mpa}$
- $S_y=1050\text{Mpa}$
- $S_{ut}=1400\text{Mpa}$
- $\sigma'_m=104.5\text{Mpa}$
- $\sigma'_a=209\text{Mpa}$



Para hallar el coeficiente de seguridad a fatiga se ha considerado que tanto σ'_a y σ'_m pueden variar bajo condiciones de servicio, pero su relación se mantiene constante. Es el caso más general.

$$CS_f = \frac{BC}{BA} = \frac{Se \times Sut}{\sigma'_a \times Sut + \sigma'_m \times Se} = 1.56$$

El coeficiente de seguridad es adecuado por lo tanto el material elegido también lo es.

7.2.4 Eje

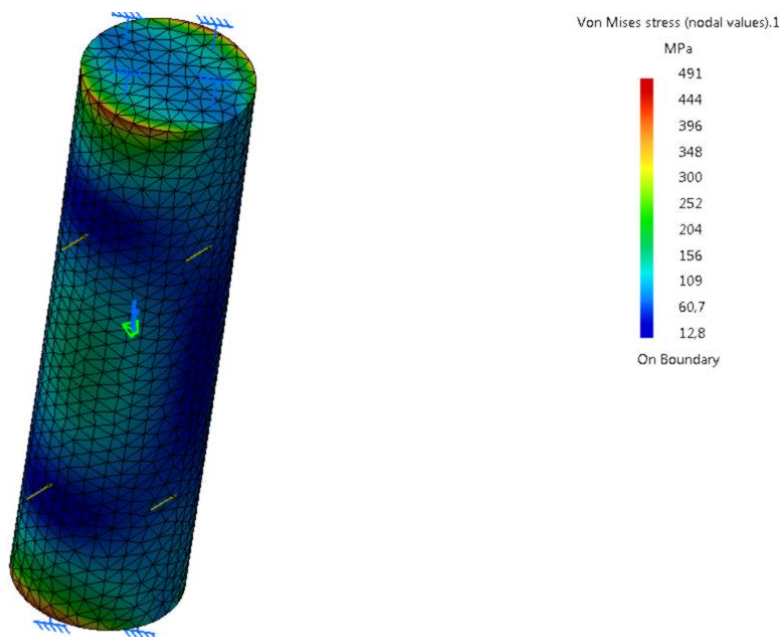
7.2.4.1 Análisis de fuerzas

Anteriormente se ha calculado mediante la teoría de máquinas las fuerzas en el eje. Se ha podido comprobar posteriormente que coincide con los resultados mostrados por Catia en el sensor de reacción que se ha colocado en el eje.

7.2.4.2 Simulación de elementos finitos (CATIA).

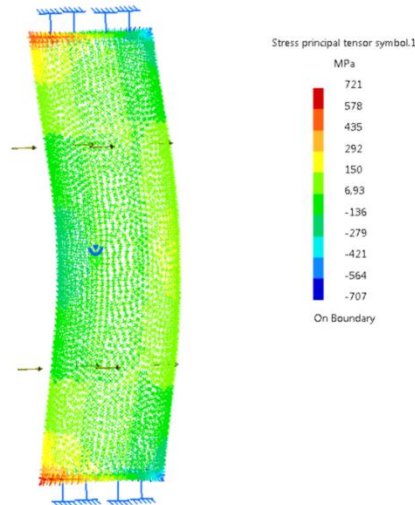
Se ha introducido la resultante del eje como fuerzas y posteriormente se han empotrando los dos extremos obteniendo los siguientes resultados..

Mapa de tensiones equivalentes de Von Misses



Observamos que las tensiones máximas se dan en los extremos del eje, concretamente en el perímetro.

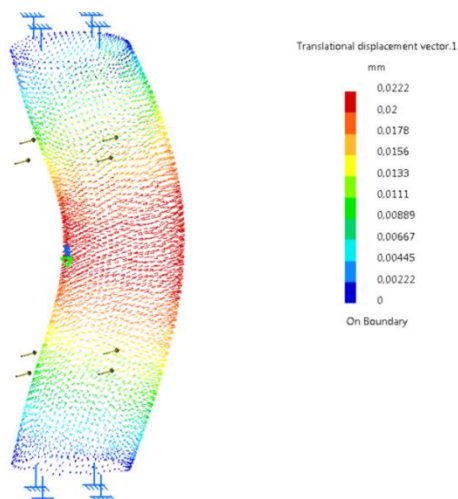
Tensiones principales

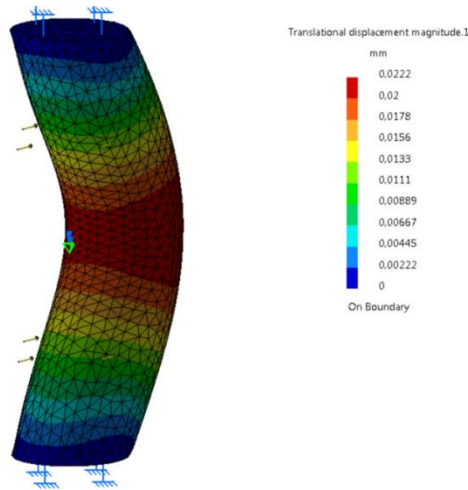


Nota: se ha exagerado la deformación para apreciar mejor las zonas de compresión y tracción.

Se observa cómo por la cara interna del eje donde se le ha aplicado las fuerzas las tensiones son de compresión, y en la zona externa en cambio se puede observar que las tensiones muestran un color más amarillento (tracción). No obstante las tensiones máximas y mínimas se encuentran en los extremos de dicho eje.

Desplazamientos (se han exagerado los desplazamientos)





7.2.4.3 Discusión de los resultados

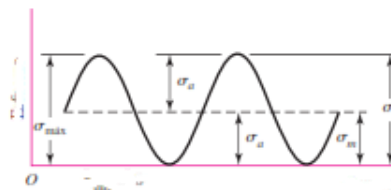
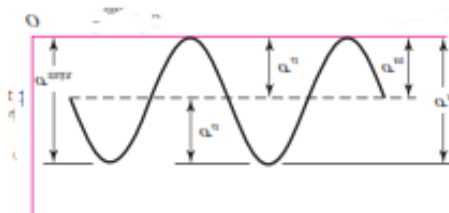
Con estos resultados se verifica que las tensiones que sufre este elemento son mayores a las que sufría la leva. En parte esto se debe a que las dimensiones del eje son bastantes menores a las de la leva. Además coincide la zona en donde se dan las tensiones máximas de Von Mises con las de compresión y tracción. Esta zona son los extremos de la leva ya que se trata una zona de concentración de tensiones.

7.2.4.4 Análisis de fatiga en el eje

Debido a las grandes tensiones que debe soportar el eje, se ha decidido emplear un también acero aleado de alta resistencia. Concretamente el 36NiCrMo16 cuyas características mecánicas son:

- Límite elástico (S_y)=1050Mpa.
- Límite de rotura (S_{ut})=1400Mpa

Al igual que con la leva las tensiones que sufre el eje siguen la forma de una curva fluctuante que dependiendo del nodo siempre se mantendrán por encima del eje vertical o por debajo del eje vertical

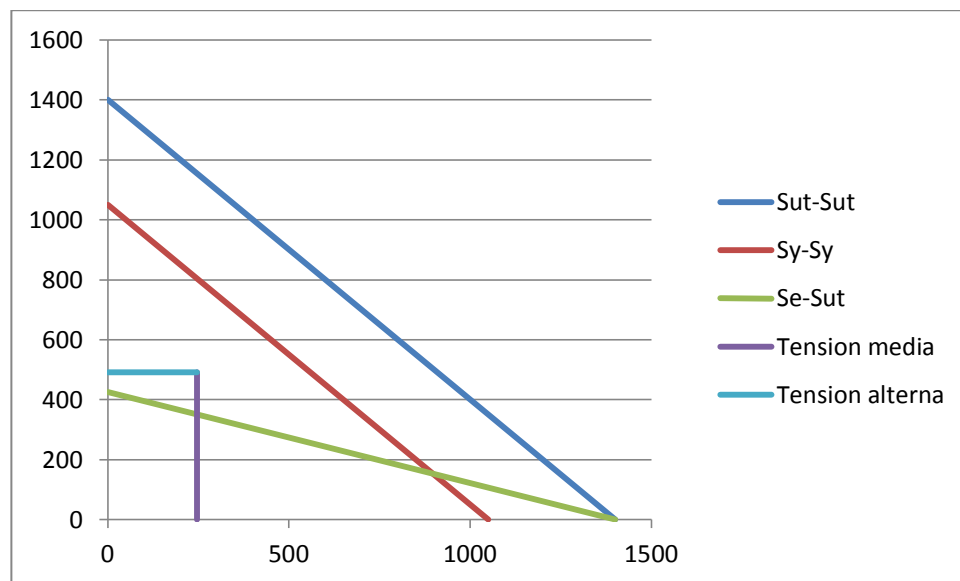


En este caso la tensión alternante máxima de Von Misses es de 491 Mpa y por lo tanto la tensión media de Von Misses es de 245.5.

Los factores de corrección a fatiga son iguales excepto el del tamaño ya que su diámetro es igual a 10 mm. Por lo tanto los coeficientes de corrección quedan:

- $C_{carga}=1$
- $C_{sup}=0.853$
- $C_{temp}=1$
- $C_{tamaño}(D=10mm)=0.95$
- $C_{conf}=0.753$
- $C_e=0.61$
- $S_e=C_e*S'_e=0.61*700=427 \text{ Mpa}$

Si dibujamos la gráfica de Goodman Modificada:

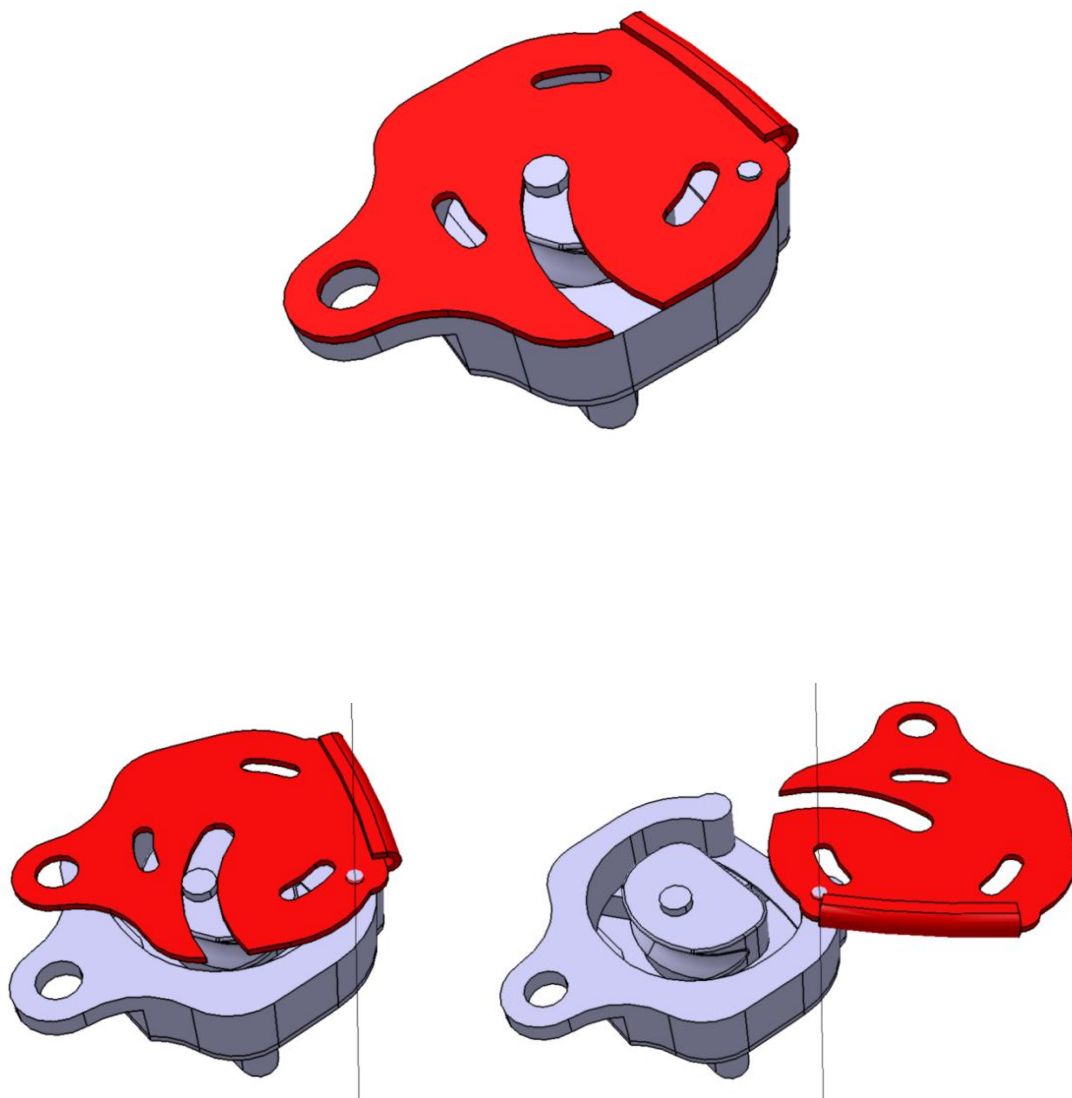


Aunque el punto queda por encima de la línea de Goodman hay que tener en cuenta que se está trabajando en unas condiciones aún peores que las condiciones más desfavorables que se pueden dar. Por lo tanto aunque el punto (σ_M, σ_A) no esté por debajo de la línea se va a emplear el material que se ha elegido que es el acero aleado 36NiCrMo16. Además el instante de máxima tensión que se ha escogido para realizar este estudio de fuerzas se ha considerado como si fuera estático a la hora de resolver. En la realidad ese instante es momentáneo y no se prolonga en el tiempo, por lo que las tensiones tampoco son del todo acordes a la realidad.

7.2.5 Tapa delantera:

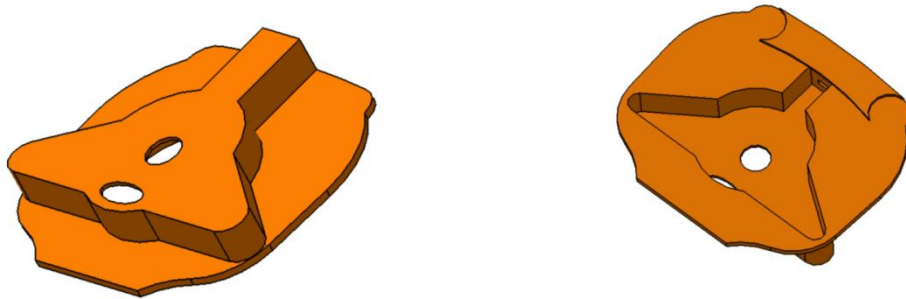
La tapa delantera va a ser una aleación de Aluminio-Zinc 7075. Es una aleación que suele mejorar sus propiedades mecánicas mediante el endurecimiento por precipitación química. Presenta una dureza de alrededor de 164 HBW. Se ha elegido este material porque es muy resistente al desgaste. Es necesario que cuando la cuerda deslice por la parte inferior de la tapa no cree rebabas cortantes que puedan causar el deshilachamiento de la cuerda.

Presenta un agujero para poder alojar el mosquetón que va al arnés además de unas ranuras para aligerar peso y hacer más estético el producto. Contiene también un pequeño tornillo en la parte superior derecha que permite la apertura de la tapa para introducir la cuerda. Además se ha incluido una superficie de apoyo para la cuerda de la mano de freno similar a la que presenta el grigri 2 en su diseño.



7.2.6 Tapa trasera

La tapa trasera se ha diseñado del mismo material que la tapa delantera. Su propósito es proteger la zona del sistema de bloqueo donde se encuentra la elipse y el seguidor además de los dos muelles auxiliares.



El agujero con forma de elipse es para alojar un tope que se necesita a la hora de dar y recoger cuerda rápidamente.

7.2.7 Rueda loca y seguidor

En cuanto al conjunto rueda loca y seguidor se ha optado por fabricarlos con el mismo material de la leva que es un acero 36NiCrMo16. Como se ha comprobado anteriormente es un material que además de trabajar muy bien a fatiga es muy resistente al desgaste. Esta característica es importante en la rueda loca ya que va estar siempre en contacto con la superficie elíptica del mecanismo de bloqueo con su correspondiente fricción. El seguidor también será del mismo material ya que deberá soportar la carga instantánea de las caídas.



7.2.8 Muelles

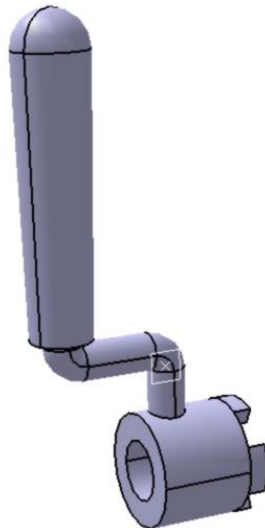
Los muelles se han calculado anteriormente en el análisis de fuerzas del mecanismo de bloqueo de la leva. El muelle principal tiene una cte elástica de 22.3KN/mm con una longitud de 33mm, mientras que los muelles auxiliares presentan una longitud natural de 43mm y una cte elástica de 17.5KN/mm. Los diámetros de los muelles deben ser del alrededor de 10mm debido al espacio que tienen en el interior del freno para actuar.

7.2.9 Conjunto empuñadura

Para que la empuñadura gire a la vez que todo el mecanismo de bloqueo se ha sido necesario diseñar un elemento de acople que una la empuñadura con el mecanismo. Este elemento va unido un tubo (perfil) en donde irá acoplado el mango (empuñadura) de nylon reforzado.

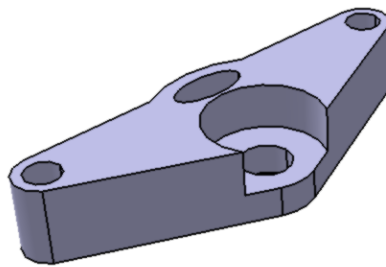


Los salientes de la parte trasera del elemento de acople se encajan en la parte trasera de la elipse del mecanismo de bloqueo.



7.2.10 Tapa sujeción del eje

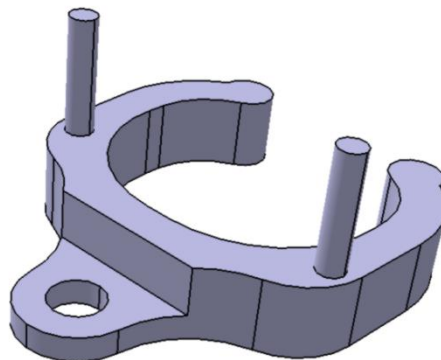
Para que el eje no se mueva es necesario sujetarlo de alguna manera. De esa manera la leva girará respecto al eje y el freno desempeñará correctamente su cometido, detener o pinzar la cuerda. Para ello se ha diseñado una tapa adicional con un agujero en su parte central en donde se alojará el eje. Este ajuste entre tapa-eje deberá de ser una apriete mientras que la parte restante del eje-leva deberá ser deslizante o juego para que se permita el libre giro de la leva. Adicionalmente la tapa tendrá dos agujeros para unirlos al resto de la estructura del asegurador. Estos ajustes deberán ser también de apriete pero su importancia es menor ya que los ejes que van en su interior no sufrirán tanta fuerza como el mecanismo de bloqueo y el eje principal.

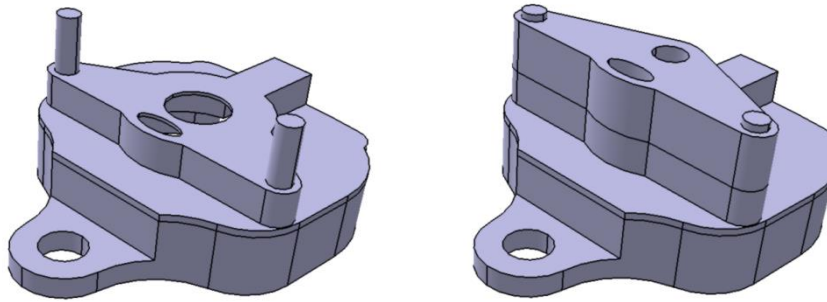


También se ha dejado un espacio elíptico para alojar el botón de bloqueo que será necesario para desempeñar las acciones de dar y recoger cuerda rápidamente.

7.2.11 Ejes auxiliares

Estos dos ejes se han diseñado para dar más compacidad y rigidez a la estructura y poder unir el soporte con todas las demás partes. Además sirven como elemento de apoyo a los dos muelles que irán unidos también a la parte trasera del mecanismo de bloqueo. En toda su longitud el ajuste con las demás partes del sistema tendrá que ser de apriete ya que no interviene ninguna pieza que requiera un movimiento relativo respecto a él (en el caso del eje principal sí que se requiere un ajuste de juego respecto al mecanismo de la leva).





7.2.12 Botón de bloqueo

Tiene la función de bloquear el mecanismo interno del asegurador de escalada cuando se requiera las acciones de dar y recoger cuerda rápidamente. Mediante un muelle de compresión se pulsará cada vez que se necesite emplearlo. Cuando se pulse se interpondrá en el camino del recorrido de la elipse pero nunca llegará a tocar la cuerda o el suelo por el cual se desliza la cuerda.



7.3 Resumen de los materiales empleados

A continuación se va a proceder a realizar un breve resumen de los materiales empleados en cada componente con sus respectivas consideraciones.

Leva de bloqueo

Mediante el análisis de fatiga se ha podido justificar el material elegido que ha sido un acero aleado de temple y revenido, concretamente su denominación según la norma 10083 es 36NiCrMo16. Sus grandes prestaciones mecánicas las hacen recomendables en el caso de piezas pequeñas que deban soportar grandes cargas. En este caso la leva sufre grandes fuerzas en el momento de máxima tensión de la caída. Como se ha estudiado anteriormente esas fuerzas son del orden de KN. Además presenta una gran resistencia al desgaste por lo que el material elegido es adecuado.

Mecanismo de bloqueo

Se trata de la conjunto de piezas que están unidas a la leva por la parte trasera. La elipse gira solidariamente con la leva y al mismo tiempo sufre la fuerza de rozamiento del conjunto rueda seguidor. Todas estas piezas se han decidido diseñar con el mismo material de la leva de bloqueo ya que aunque no sienten la fuerza inmediata de la cuerda sí que se propaga a través de ellos. Además existe un rozamiento continuo entre la rueda loca y la elipse por lo que el desgaste juega un gran papel en estos componentes también. Por estos argumentos queda justificada la elección del material.

El eje

Es el elemento que mayores fuerzas sufre de todo el conjunto. Del mismo modo que la leva se ha empleado un material de la norma 10083, y es el mismo que el de las piezas anteriores. Se trata del 36NiCrMo16. Mediante el análisis de fatiga no se ha podido verificar que el material elegido es adecuado ya que el punto de máxima tensión no se ajustaba a los límites establecidos por la línea de Goodman modificada. Esta zona de máxima tensión coincide con un concentrador de tensiones, así que en cierta medida tiene lógica que en esa parte sufra el eje. Bajo esta condición se podría rediseñar el eje agrandando su diámetro pero no ha sido así por la siguiente argumentación. Se ha elegido este material ya que las situaciones de trabajo en las que se ha estimado que trabaja todo el conjunto son excesivamente desfavorables. Las cargas que sufre el asegurador en condiciones normales son bastante menores e incluso suponiendo también unas condiciones de trabajo bastante desfavorables, en el estudio se han estimado aún peores condiciones. Por todo esto la elección de este material se ha considerado adecuada.

La tapa delantera y traseras

Estos elementos tienen el propósito de proteger las zonas de la leva y su mecanismo interno ante posibles caídas del dispositivo al suelo y también de la posible inserción de agentes externos, polvo, arena... Un material que cumple bien con estos requisitos es un aleación de Aluminio-Zinc 7075. Es una aleación que suele mejorar sus propiedades mecánicas mediante el endurecimiento por precipitación química. Presenta una dureza de alrededor de 164 HBW por lo que tiene gran resistencia al desgaste.

Soporte

Es el elemento que une la parte trasera y delantera y proporciona apoyo para la cuerda. Debe dar por tanto rigidez al sistema y por ello se ha optado por un plástico duro o concretamente un PVC, el cual cumple con el requisito. Del mismo modo en su parte interna se acoplarán dos refuerzos de acero inoxidable para las zonas de pinzamiento de la cuerda. Se ha elegido ese material por su gran resistencia al desgaste. Hay que recordar que en las zonas de pinzamiento de la cuerda, se originan grandes fuerzas de compresión y al mismo tiempo rozamiento. Por lo tanto su elección queda justificada.

Conjunto empuñadura

Está compuesto por tres piezas:

- el elemento de acople a la parte trasera de la elipse,
- el perfil (tubo) que une el acople con la empuñadura
- la empuñadura.

El elemento de acople se ha decidido fabricarlo con el mismo material que todo el mecanismo interno debido a las ventajas que presenta.

El tubo o perfil cilíndrico que une el acople a la empuñadura también va a ser de acero.

Y por último la empuñadura se ha decidido decantarse por el nylon reforzado ya que es un material típico de las empuñaduras en los demás aseguradores del mercado.

Botón de bloqueo

Se ha optado por fabricarlo del mismo material que el de la empuñadura ya que se trata de un material bastante resistente como para interferir en el mecanismo de bloqueo en las acciones de dar y recoger cuerda.

Ejes auxiliares de sujeción

Estos ejes tienen como cometido la unión de las tapas traseras con el cuerpo además de poder servir como apoyo a los muelles auxiliares. Estos ejes no soportan tanta fuerza como el eje principal por lo que el material empleado va a ser un acero de unas propiedades mecánicas menores a las del eje principal.

Muelles

A la hora de elegir los muelles se ha empleado un catálogo de muelles de troquel ISO 10243. De todos los muelles del catálogo se han tenido en cuenta aquellos cuyo diámetro exterior es de 10 mm ya que se amoldan a las características que necesitan los muelles de este asegurador.

El muelle principal debe cumplir con las siguientes características:

$$K_p = 22.3 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$$

$$X_p = 18 \text{ mm}$$

$$K_p \cdot X_p = 401 \text{ N}$$

Los catálogos del muelle tienen distinta longitud natural y cte elástica, por tanto se ha buscado un muelle que cumpla que K por la longitud comprimida sea igual a 401N. Por lo tanto debe cumplir la siguiente ecuación.

$$(L_0-15) \cdot K_{\text{catálogo}} = 401 \text{ N}$$

El muelle que se ha elegido que más se acerca a esa fuerza de muelle precargado tiene como parámetros.

$$L_0 = 44$$

$$K_{\text{cat}} = 14.5$$

$$F_{\text{muelle}} = 420.5$$

Se pasa un poco de lo establecido pero no hay un muelle exacto con las características arriba determinadas.

El mismo planteamiento se ha tomado con los muelles auxiliares, sus características son

$$K_p = 17.5 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$$

$$X_1 = x_2 = 20 \text{ mm}$$

$$K_p \cdot X_p = 350 \text{ N}$$

Los catálogos del muelle tienen distinta longitud natural y cte elástica, por tanto se ha buscado un muelle que cumpla que K por la longitud comprimida sea igual a 401 N. Por lo tanto debe cumplir la siguiente ecuación.

$$(L_0-28) \cdot K_{\text{catálogo}} = 350$$

El muelle que se ha elegido que más se acerca a esa fuerza de muelle precargado tiene como parámetros.

$$L_0 = 50.8$$

$$K_{\text{cat}} = 15.8$$

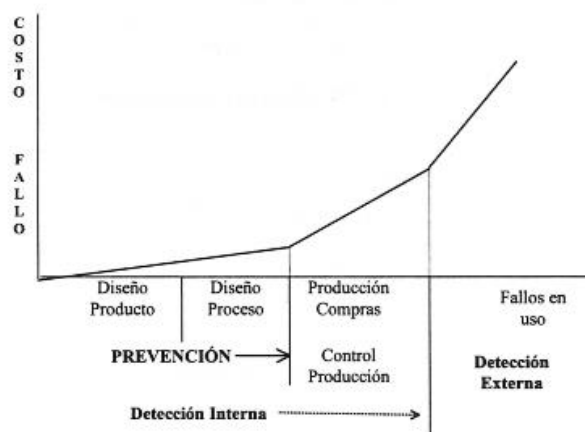
$$F_{\text{muelle}} = 360$$

Al igual que en el anterior caso la fuerza del muelle precargado se pasa escasamente del valor exacto. No obstante se han considerado unos muelles adecuados para su uso en el asegurador de escalada ya que sus valores en precarga son muy parecidos a los necesitados. De querer exactamente unos muelles con los valores de precarga exacto habría que fabricar unos específicos para este caso.

8 AMFE

En este apartado se va a llevar a cabo un Análisis Modal de Fallos y Efectos (AMFE). Se trata de un método preventivo para detectar posibles fallos y clasificarlos en función de los efectos que pueden producir, antes de lanzar el producto al mercado. Es una de las herramientas más utilizadas en la planificación de la calidad y trata de prevenir para no tener que corregir.

Es indispensable realizar un AMFE en la etapa de diseño del producto antes de su fabricación ya que los costes que acarrearán esos fallos son menores. La siguiente gráfica representa el coste del fallo en función del periodo de detección. Se observa que la curva es de tipo parabólica y que cuanto más tarde se detecten los fallos más costes acarrearán a la empresa productora.



No obstante el AMFE ha de ser un “documento vivo” que no sólo ha de llevarse a cabo en la etapa de diseño sino también cuando el producto ha sido comercializado, ya que se trata de un método para la mejora continua.

A grandes rasgos un AMFE puede ser de producto, si está orientado al diseño de un nuevo producto o su modificación, o de proceso, para la fase de definición de un proceso. Nos centraremos en el AMFE de producto, también denominado AMFE de diseño.

Un AMFE de diseño tiene como objetivo buscar para cada una de las funciones de una parte del producto:

- Las formas en la que puede fallar el producto, o modos de fallo.
- Los efectos que produce cada fallo.
- Las causas que pueden llevar a que se produzca cada fallo.
- Los medios de detección para determinar los fallos
- La valoración numérica de la frecuencia, gravedad y posibilidad de detección de fallo.
- Las acciones correctoras a llevar a cabo en caso de ser necesario.

El documento de un AMFE debe mostrar los siguientes parámetros:

Modo de Fallo

El posible modo de fallo es la manera en que un dispositivo, componente o sistema pueda dejar de cumplir la función encomendada y provocar una insatisfacción. Se expresan en términos físicos y cuantificables, como por ejemplo:

- Deformación
- Desgaste
- Corrosión
- Porosidad
- Agarrotamiento
- Fuga
- Decoloración
- Rotura

Efecto del fallo

Los efectos son las consecuencias que se observan en el momento que se produce el fallo. Por ejemplo:

- Fugas
- Calentamiento
- Mal funcionamiento

Causa del fallo

Encontrar cuales podrían ser las posibles causas de cada fallo en el caso de que ocurran. Si hubiese varias causas se anotará la que se considere de mayor gravedad.

Detección

Se enumera con qué mecanismos podemos detectar esos fallos.

Para cada modo de fallo a su vez ha de realizarse una valoración numérica mediante tres indicadores: gravedad, frecuencia y detección.

Gravedad: es la gravedad del fallo en función del efecto que produce. Se valorará del 1 al 10. Si la gravedad es mínima se anotará un 1 y si es muy importante un 10.

Frecuencia: es la frecuencia con la que puede aparecer el fallo por la causa de que se trate. Se valorará del 1 al 10. Si la frecuencia es muy baja su valor será un 1 y si es alto su valor será un 10.

Probabilidad de detección: es la probabilidad de detectar el fallo antes de que llegue al cliente. En el caso de que sea un fallo fácil de detectar su valor será de 1, en caso contrario (muy difícil de detectar) su valor será de 10.

Basándose en los 3 índices se obtiene el Índice de Prioridad de Riesgo, el cual se calcula multiplicando los valores de la gravedad, frecuencia y detección.

$$IPR=G \times F \times D$$

Este índice es el que indica cuál es el más problemático y hacia donde debemos encaminar la acción de mejora. En los casos en los que el IPR alcance valores cercanos o mayores a 100 será preciso aplicar medidas correctivas a esos modos de fallo, como pueden ser modificaciones en el diseño, en el proceso, o de medios de control para detectar el fallo en el caso de que se produzca.

Sistema: leva y mecanismo de bloqueo

Modo de fallo	Efecto	Causa	Detección	F	G	D	IPR	Acción correctora	F	G	D	IPR
Desgaste prematuro	Deterioro de la superficie de contacto y posible aparición de bordes cortantes	Material inapropiado, falta de tratamiento superficial adecuado	Tarde	2	7	7	98	Elección de un material más resistente y aplicación de un tratamiento superficial	1	7	4	28
Corrosión	Posible inicio de fracturas y merma de las propiedades mecánicas	Material inapropiado	Tarde	3	6	7	126	Elección de un material más resistente a la corrosión	2	5	4	40
Bordes cortantes	Posible rotura de la cuerda	Fallo en la fabricación	Control calidad	2	10	5	100	Revisión del proceso de fabricación.	2	10	2	40
Desgaste prematuro de la rueda loca	Mal funcionamiento del sistema de bloqueo	Mala elección del material, Falta de tratamiento superficial	Ensayos de fatiga	4	8	5	160	Elección de un material más resistente al desgaste y posible tratamiento superficial	2	8	2	32
Rotura de un muelle	Mal funcionamiento del sistema de bloqueo	Cálculo erróneo de la cte elástica	ensayos de fatiga	2	10	5	100	Revisión del modelo de calculo	1	10	2	20
Rotura del seguidor	Mal funcionamiento del sistema de bloqueo	Material inapropiado, dimensionamiento incorrecto	Control de calidad	2	10	4	80	Elección de un material adecuado redimensionamiento de la pieza correcto	2	10	2	40
Peso excesivo del conjunto	Poco ergonómico relativamente grande	Mal dimensionamiento	Pruebas	3	6	5	90	Redimensionamiento del sistema de bloqueo	2	6	3	36

Sistema: eje

Modo de fallo	Efecto	Causa	Detección	F	G	D	IPR	Acción correctora	F	G	D	IPR
Desgaste prematuro	Deterioro de la superficie y giro defectuoso(mal funcionamiento)	Material inapropiado, falta de tratamiento superficial adecuado, ajuste mal calculado	Tarde	3	5	7	105	Elección de un material más resistente y aplicación de un tratamiento superficial	1	5	5	25
Corrosión	Posible inicio de fracturas y merma de las propiedades mecánicas	Material inapropiado	Tarde	4	6	7	168	Elección de un material más resistente a la corrosión	2	6	5	70
Rotura del eje	Mal funcionamiento	Cálculos erróneos Material inadecuado	Ensayos a fatiga	2	10	3	60	Crear un modelo más adecuado a la realidad	1	20	2	40

Sistema:palanca

Modo de fallo	Efecto	Causa	Detección	F	G	D	IPR	Acción correctora	F	G	D	IPR
Agarre incomodo	Poca ergonomía Posibles lesiones en la mano	Forma /diseño erróneo de la palanca	Pruebas	3	7	5	105	Estudio ergonómico y rediseño de la palanca	2	7	4	56
Diseño erróneo	Interferencia con la cuerda que va al escalador	Mal dimensionamiento	Tarde	3	6	6	108	Rediseño de la palanca	2	6	4	48
Deformación de la palanca	Mal funcionamiento	Material inadecuado	Control de calidad	4	8	6	192	Elección de un material más adecuado	2	5	4	40

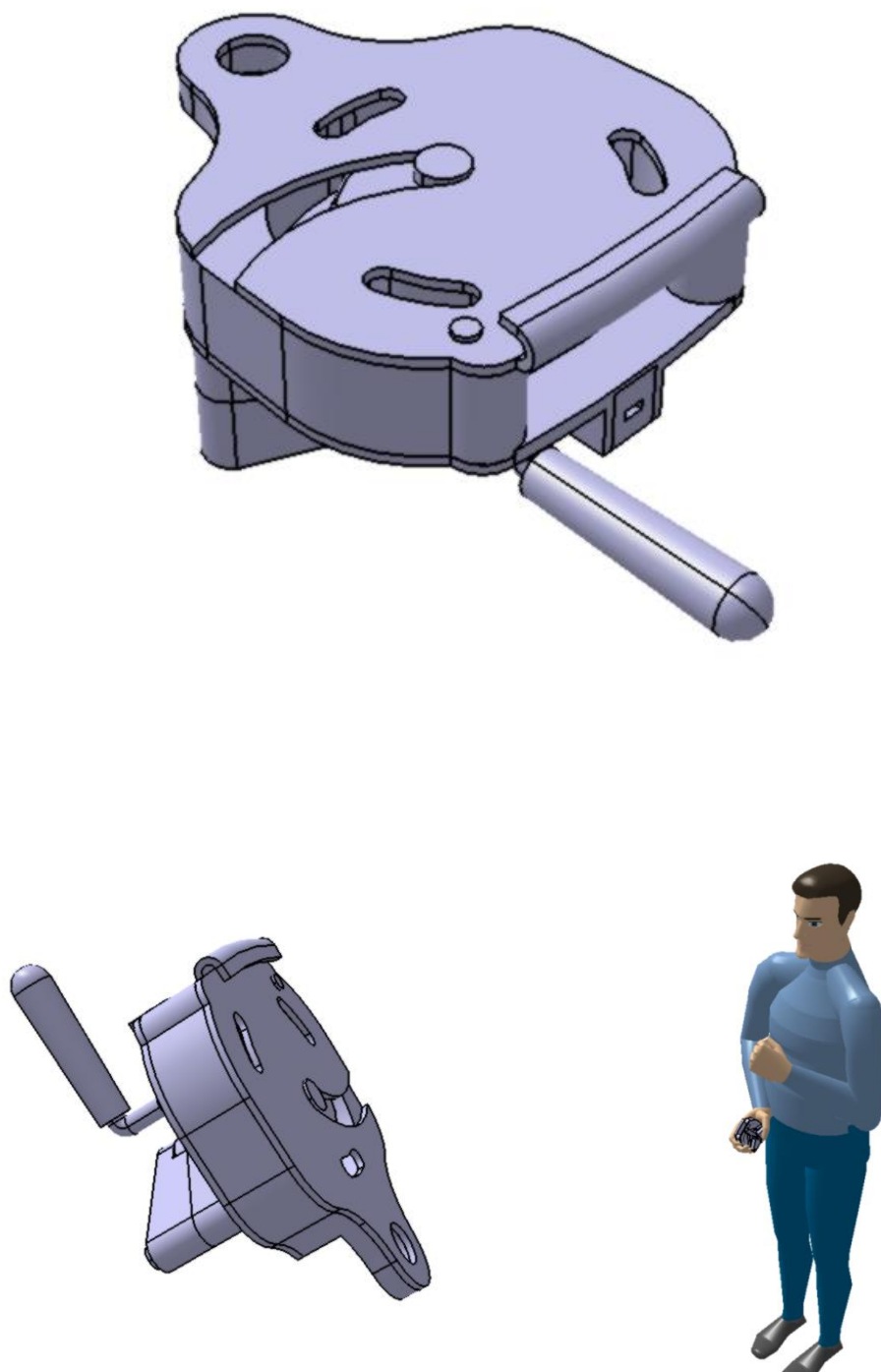
8.1 Conclusiones

Se puede observar que la mayoría de modos de fallo están relacionados con las propiedades de los materiales seleccionados para su fabricación. Una mala elección del material origina el mal funcionamiento del producto lo que puede ocasionar graves consecuencias para los destinatarios (los escaladores). Por tanto es de vital importancia el realizar un análisis de fatiga en estos tipos de productos ya que la vida de los usuarios depende de ellos.

También se verifica la importancia que tienen estos documentos ya que permiten implantar medidas correctoras que minimizan los riesgos de los fallos en el diseño. Gracias a estas medidas correctoras los índices de prioridad de riesgos (IPD) han disminuido su valor por debajo de 100 lo cual se convierten en unos índices aceptables para su diseño.

9 Diseño en detalle

El diseño del producto final ha sido el siguiente. Los planos se adjuntan en el anexo 2.





10 Estudio económico

A la hora de diseñar un producto es de vital importancia realizar un estudio económico que avale la viabilidad del producto. Con este estudio se pretende conseguir una estimación del precio de venta.

Para el estudio se ha considerado que el producto se va a fabricar en una empresa que ya se dedique a ello por lo que dispondrá de las instalaciones, maquinaria y utillajes necesarios para su fabricación. Una empresa de este tipo es la empresa Petzl que se dedica a fabricar todo tipo de productos de montaña entre los que se encuentran por ejemplo los aseguradores de escalada grgri 2. Es por ello que la inversión inicial en maquinaria y solares será nula.

Por otra parte al ser un producto que va entrar en el mercado se intentara competir en precios para ganar más volumen de mercado.

10.1 Presupuesto

En el primer capítulo aparecen desglosadas todas las piezas que forman el asegurador de escalada. Hay que recordar que muchas de las que componen el asegurador son muy específicas y no contiene casi elementos comerciales

10.1.1 Capítulo 1: materia prima y elementos comerciales

Descripción	Nº de unidades	€/unidad	total
Eje de acero	1	2	2
Leva de acero aleado	1	3	3
Tapa delantera Aluminio-Zinc 7075	1	3	3
Tapa trasera de Aluminio-Zinc 7075	1	3	3
Soporte de pvc	1	2	2
Pletina de acero inoxidable	2	1	2
Ejes de sujeción	2	1.5	3
Tornillo tapa delantera	1	0.5€	0.5
Seguidor	1	0.5€	0.5
Rueda loca	1	0.5€	0.5
Muelles auxiliares	2	0.38	0.76
Muelle leva seguidor	1	0.4	0.4
Tubo de empuñadura	1	1	1
Acople empuñadura	1	2	2
Empuñadura nylon reforzado	1	0.7	0.7
TOTAL CAPÍTULO 1			24.36€

10.1.2 Capítulo 2: personal, fabricación y montaje

Descripción	total
Operaciones de cortado, doblado y mecanizado de las piezas que componen el asegurador: ejes, tapas, leva, mecanismo de bloqueo y empuñadura	10€
Montaje de todos los elementos	4€
TOTAL CAPÍTULO 2	14€

10.1.3 Capítulo 3: pruebas funcionales y de calidad

Descripción	total
Pruebas funcionales al final del proceso	2€
TOTAL CAPÍTULO 3	2€

10.1.4 Capítulo 4: embalaje

Descripción	total
Preparación y embalaje del asegurador de escalada	1€
TOTAL CAPÍTULO 4	1€

10.1.5 RESUMEN DEL PRESUPUESTO

CAPÍTULO 1	24.36€
CAPÍTULO 2	14€
CAPÍTULO 3	2€
CAPÍTULO 4	1€
TOTAL COSTE DE FABRICACIÓN	41.36€
Gastos generales (15%)	6.2€
Beneficio industrial (7%)	2.89€
Total	50.45€
IVA(21%)	10.59€
PRECIO DE VENTA UNIDAD	61€

El total del presupuesto asciende a la cantidad de 61€

11 Conclusiones y líneas de trabajo futuro

Tras el estudio de diseño de este proyecto se han ampliado los conocimientos de las herramientas de diseño. Se han estudiado las diferentes etapas que conllevan el diseño de un producto y se han adquirido nuevos conocimientos, como es el caso del software de Catia.

Desde el punto de vista del producto diseñado se ha conseguido dar una solución al problema planteado, por lo que se ha conseguido cumplir con el objetivo principal de este proyecto. La idea de incorporar la bidireccionalidad es una buena oportunidad para adentrarse en el mercado de los dispositivos de aseguramiento ya que puede prevenir accidentes derivados de la mala inserción de la cuerda.

No obstante no se han podido cumplir satisfactoriamente con todos los objetivos planteados ya que inicialmente se pretendía diseñar un asegurador más ergonómico y pequeño que el obtenido. La causa principal ha sido que no se ha sabido acoplar la palanca de una manera más simple por lo que el tamaño final del producto ha aumentado considerablemente afeando un tanto su estética. Aunque sí contiene un atributo que no presentan los demás aseguradores del mercado (la bidireccionalidad) este resultado final puede reducir su éxito de venta debido a su tamaño (es bastante ancho comparándolos con otros del mercado).

En la consecución del proyecto ha resultado muy difícil diseñar cada una de las piezas dimensionalmente ya que hay que tener muchos factores en cuenta como es el peso, espacio, funcionabilidad... Además la mayoría de las piezas son muy específicas, que no se encuentran en el mercado y se han tenido muchas dificultades a la hora de definir su forma. Como es el caso de la leva o la forma del soporte. Del mismo modo el estudio realizado de elementos finitos no es exacto ya que habría que haber implementado un modelo que describiera el comportamiento de la carga que sufre el asegurador en función del tiempo. En el proyecto se ha considerado el instante de máxima tensión y se ha analizado las fuerzas en ese instante como si fueran estáticas. Esto también puede ser una razón por la que los resultados de las tensiones obtenidas pueden ser mayores a las reales. Hay que recordar que en el caso del eje las tensiones de trabajo han quedado un poco por encima de la línea de Goodman.

En cuanto el estudio económico los valores de los precios unitarios son orientativos ya que la mayoría de las piezas son muy específicas por lo que no se ha podido encontrar su precio exacto en ningún sitio.

Por lo tanto tras la realización de este proyecto se ha podido comprobar que el diseño de un producto para su venta al público no es tan sencillo como parece inicialmente, ya que hay muchos aspectos a tener en cuenta.

Para continuar con la mejora de este proyecto y acercarse más a los productos de la competencia se van a proponer una serie de mejoras:

- Desarrollar un modelo que describa el comportamiento de la carga que sufre un asegurador de escalada en función del tiempo y que contenga parámetros tales como: factor de caída, peso, longitud de cuerda, ángulo de contacto, coeficientes de fricción estático y dinámico, deslizamiento de la cuerda, fuerza de la mano de aseguramiento...

Se considera fundamental esta mejora en el proyecto ya que en cuanto al análisis de fuerzas sería mucho más preciso y real por lo que la elección del material también sería más adecuada.

- Rediseñar el acople de la palanca para que no ocupe tanto espacio. Si se consigue que la parte trasera donde va acoplada la palanca no sobresalga tanto entonces se tendrá un dispositivo más competitivo en el mercado además de reducir el peso considerablemente.

- Fabricar un prototipo para apreciar realmente si el producto que se ha diseñado funciona como debe. En esta mejora también influye la primera ya que si se desarrollara un modelo efectivo los prototipos serían más adecuados a la realidad.

12 Bibliografía

12.1 Libros

- ERGONOMÍA PRÁCTICA.GUÍA PARA LA EVALUACIÓN ERGONÓMICA DE UN PUESTO DE TRABAJO. José Luis Melo.2009
- DISEÑO INDUSTRIAL (UPNA). Villanueva Roldán, Pedro. 2013
- APUNTES DE DISEÑO DE MÁQUINAS. Juan M. Marín García.2006
- DISEÑO DE MÁQUINAS.UN ENFOQUE INTEGRADO. Robert L. Norton 2011
- DISEÑO EN INGENIERÍA MECÁNICA DE SHIGLEY. Richard G.Budynas y J. Keith Nisbett 2008
- TEORÍA DE MÁQUINAS Y MECANISMOS.Joseph Edward Shigley, John Joseph Uicker,Jr. 2001

12.2 Artículos

- DESIGN AND MECHANICS OF BELAY DEVICES AND ROPE BRAKES.
- Franz Konstantin Fuss & Günther Niegler. Sports Technology 2011
- A SIMULATION OF CLIMBING AND RESCUE BELAYS. Tom Moyer. International Technical Rescue Symposium 2006
- THE MECHANICS OF FRICTION IN ROPE RESCUE. Stephen W. Attaway, Ph.D. International Technical Rescue Symposium 1999
- ASEGURADORES PARA DEPORTIVA, TIPOS VENTAJAS Y USOS. Curro Martínez (Escuela Andaluza de Alta Montaña).Escalar nº 86. Junio 2013
- ¿ES SEGURO? EL GRIGRI 2 AL MICROSCOPIO. Curro Martínez y EMAM/FMM.Escalar nº 88.Octubre 2013

12.3 Normativa

- UNE-EN 15151-1: DISPOSITIVOS DE FRENADO SEMIAUTOMÁTICOS, REQUISITOS DE SEGURIDAD Y MÉTODOS DE ENSAYO
- UNE-EN 892: CUERDAS DINÁMICAS, REQUISITOS DE SEGURIDAD Y MÉTODOS DE ENSAYO
- UNE-EN 10083: ACEROS PARA TEMPLE Y REVENIDO
- ISO 10243: RESORTES DE TROQUEL

13 Anexo 1. Introducción a la escalada

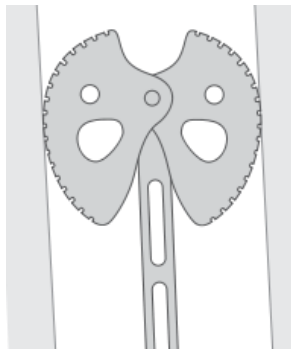
13.1 Conceptos de escalada

La escalada en roca surge del alpinismo como consecuencia del interés del ser humano por alcanzar nuevas cimas. Es a finales del siglo XVIII y a principios del XIX cuando se realizan las primeras expediciones a montañas hasta entonces inexplorables donde se requiere de la escalada en roca para poder hacer cumbre. Desde entonces la evolución de los equipos y el afán de los montañeros por abrir nuevas rutas han conseguido percibir la escalada como una disciplina deportiva más.

Hoy en día existen varias modalidades de escalada pero las más conocidas son la **escalada clásica** y sobre todo la **escalada deportiva**. En la escalada clásica el escalador debe ir poniendo unos seguros especiales recuperables (friends, empotradores...) sobre la pared emulando la escalada tradicional alpina, mientras que en la escalada deportiva las paredes están preparadas o equipadas debidamente. Es decir, se utilizan anclajes fijos (parabolts y químicos) a la pared previamente colocados estratégicamente en la vía. De ese modo el escalador no se tiene que preocupar de poner los seguros a la vía y puede centrarse exclusivamente en la técnica y realizar pasos más complicados.

Anclajes de la escalada clásica

- Friends



- Empotradores



Anclajes en escalada deportiva

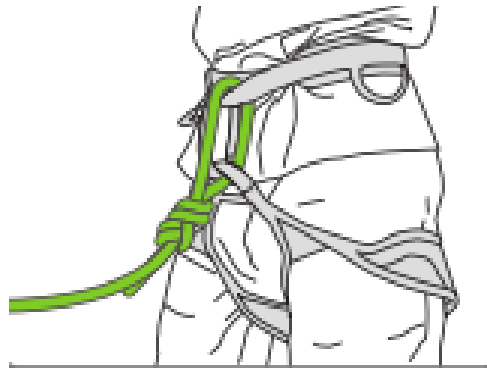
- Parabolts



- Químicos



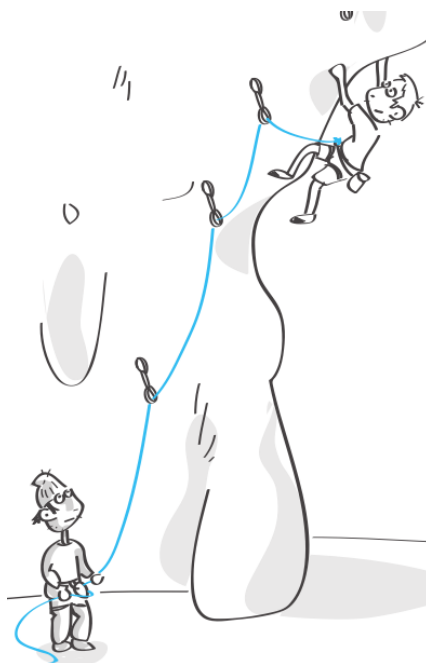
Para poder practicar la escalada deportiva es necesaria la participación de dos personas (cordada). Uno de ellos es el que asciende (en escalada se le llama “ir de primero”) mientras que el otro se encarga de asegurar desde el suelo o una posición segura. Los dos componentes de la cordada están unidos mediante una cuerda que está fijada al arnés de cada uno de ellos de diferente manera. El deportista que asciende ata la cuerda directamente a su arnés mediante el “nudo del ocho” mientras que el asegurador pasa la cuerda por un dispositivo de frenado que está unido al arnés mediante un mosquetón. Véase las siguientes ilustraciones.



Una vez los dos están preparados el que asciende debe de pasar la cuerda por los seguros que se encuentran anclados a la pared mediante las cintas express. Estas cintas están formadas por dos mosquetones ligeros unidos mediante unas cintas planas. Un mosquetón sirve para introducir el express en el seguro mientras que el otro sirve para pasar la cuerda que lleva unida al arnés.



De esta manera en caso de caída el escalador quedará retenido por el último seguro por donde ha pasado la cuerda siempre y cuando el asegurador emplee correctamente el dispositivo de frenado que lleva unido a su arnés.



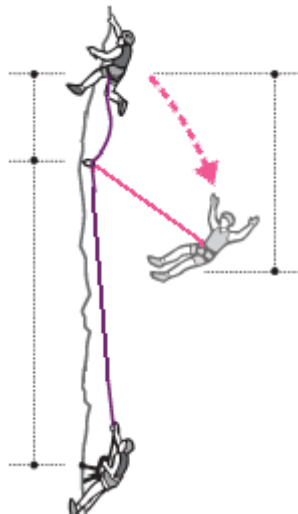
Se finaliza una vía cuando el escalador ha pasado la cuerda por la reunión. La reunión es un conjunto de mosquetones o argollas que se encuentra al final de cada vía que sirve para descender al escalador de forma segura y así poder recuperar el material que ha empleado en la ascensión.



13.2 Física aplicada a la escalada

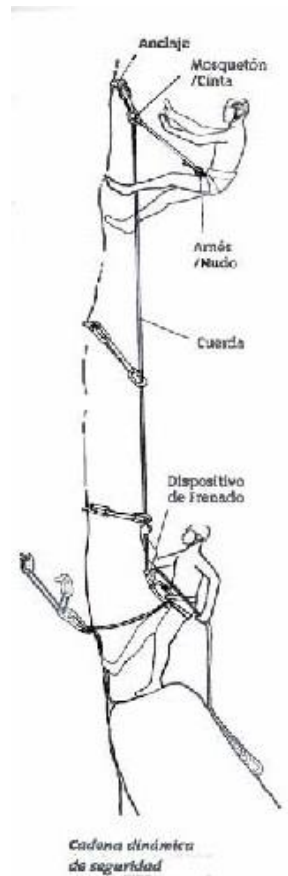
En escalada es necesario estudiar la dinámica de la caída para calcular las fuerzas que deben soportar cada uno de los elementos que intervienen en la detención. El objeto de estudio de este proyecto forma parte de uno de esos elementos (se trata del sistema de freno asistido grigri) por lo tanto este análisis de la dinámica está más que justificado

Según la ley de conservación de la energía sabemos que la energía no se crea ni se destruye, si no que se transforma. Por lo tanto la energía del sistema escalador-cuerda justo antes de una caída tiene que ser igual a la energía en el punto final de la caída. La energía que posee un escalador antes de la caída es puramente potencial.



Desde el momento que un escalador cae dicha energía potencial va disminuyendo (porque está perdiendo altura) y se va transformando y acumulando en forma de energía cinética (el escalador en la caída aumenta su velocidad). En el momento que el sistema de frenado actúa el escalador siente la fuerza de choque de la cuerda y se para. La energía cinética que el escalador había acumulado durante la caída no ha desaparecido cuando se ha parado, sino que ha sido absorbida por otros elementos. Al conjunto de todos los elementos que intervienen en la absorción de esta energía y por tanto en la detención de la caída se le llama Cadena Dinámica de Seguridad. La CDS la componen por tanto:

CDS=anclaje+express+cuerda+sistema de freno+nudo de encordamiento+arnés



13.2.1 Fuerza de choque

La fuerza de choque es la fuerza que ejerce la cuerda sobre el escalador y el escalador sobre la cuerda en el momento final de una caída. Esta fuerza se propaga por la cuerda hacia los distintos elementos que componen la CDS: los puntos de anclaje, expreses y la persona que asegura.

Como es lógico interesa que la fuerza o impacto que sienta el escalador cuando caiga sea lo más suave posible, por lo tanto en escalada se emplean cuerdas dinámicas que se estiran para poder amortiguar lo máximo posible el choque. Todas las cuerdas de montaña vienen determinadas por su fuerza de choque máxima, medida en un laboratorio en condiciones extremas que no se dan en escalada. Bajo estas condiciones toda la energía acumulada en la caída es absorbida completamente por la elongación de la cuerda y no por el rozamiento sobre los expreses, la deformación del arnés... Los ensayos de todas las cuerdas dinámicas deben realizarse conforme a la norma EN 892. Estos ensayos se realizan de forma que la fuerza de choque no supere nunca los 12KN, ya que esta cifra se considera como la fuerza máxima aceptable para un cuerpo humano entrenado. En la siguiente figura se muestra las características de una cuerda de BEAL.

Fuerza de choque. Cuanto menor sea la FC que aparece en la etiqueta, más suave resultará la detención de la caída. Es uno de los aspectos mas importantes a la hora de decidir

Diámetro

Peso por metro

Nº de caídas. A mayor cifra mas seguridad y fiabilidad en el tiempo proporcionara la cuerda

Alargamiento dinámico

Longitud

Deslizamiento de la funda

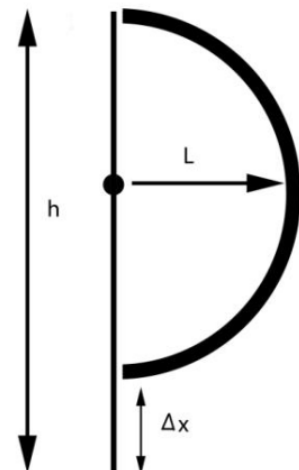
Tratamientos (hidrófugo, antiarista, etc.)



A continuación se va a demostrar de donde proviene la fórmula de la fuerza de choque máxima. Para ello véase la siguiente figura:

Dónde:

- **h**: altura de la caída
- **L**: longitud de cuerda entre el escalador y el último punto de aseguramiento
- **Δx**: longitud de cuerda estirada



Como se ha dicho anteriormente toda la energía de una caída la absorbe la cuerda únicamente, por lo tanto según ley de conservación de la energía se puede escribir:

Energía potencial=Energía elástica

$$m \cdot g \cdot h = \frac{1}{2} \cdot k \cdot \Delta x^2$$

$$h = 2L + \Delta X$$

Desarrollando la igualdad y sustituyendo la expresión de la fuerza elástica $F = K \times \Delta x$ finalmente se obtiene la siguiente expresión:

$$F = mg + mg \cdot \sqrt{1 + \frac{2E \cdot S \cdot f}{mg}}$$

Dónde:

- E: módulo de Young de la cuerda
- S: sección de la cuerda
- g: gravedad
- m: peso del escalador
- f: factor caída

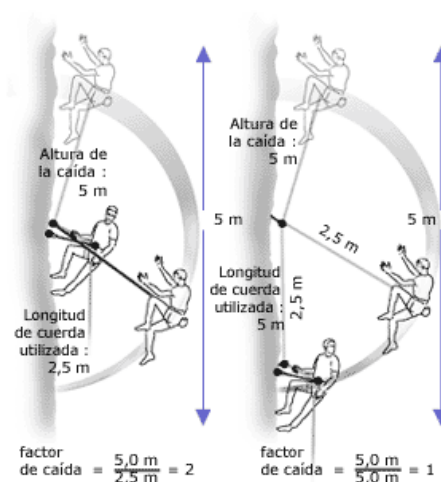
13.2.2 Factor de caída

De la expresión anterior se deduce que $\rightarrow f = \frac{\text{Altura total de la caída (m)}}{\text{Cuerda activa (m)}}$

La cuerda activa es la longitud de cuerda entre el asegurador y el escalador. Cuando se inicia una ascensión el único parámetro que puede variar el resultado de la fuerza de choque es el factor de caída ya que los demás parámetros están definidos. El factor de caída muestra la relación entre la altura de la caída y la cuerda desplegada entre el asegurador y el escalador. Este factor nos da una idea de la gravedad de una caída. Fácilmente se observa que a mayor factor de caída más brusco es el impacto que se transmite al escalador. Interesa por tanto que en la detención de una caída intervenga la mayor longitud de cuerda activa posible (f disminuye), ya que de ese modo la cuerda es estirará más y conseguirá absorber más energía reduciendo en tal caso el impacto sobre el escalador.

El factor de caída en escalada está limitado entre 0 y 2.

Véase los ejemplos siguientes de dos caídas con factor de caída uno y dos.



En la imagen se puede observar que la altura de la caída es la misma para las situaciones pero la diferencia radica en la longitud de cuerda desplegada entre escalador y asegurador. Por lo tanto el impacto será más suave en el caso de la derecha porque existe más cuerda desplegada para absorber la energía ($f=1$).

Pero en la realidad el factor de caída real es mucho más grande que el teórico ya que la cuerda no es solicitada debidamente en toda su longitud. Esto es debido al rozamiento existente entre la cuerda con la pared y los mosquetones. Como consecuencia cada tramo de cuerda entre mosquetones se solicita cada vez menos y así solamente la cuerda trabajará completamente entre el penúltimo y último seguro.

13.2.3 El efecto polea

Es de vital importancia entender lo que ocurre en el último punto de anclaje por el que se ha pasado la cuerda. En caso de caída el sistema anclaje-expres sufre a la vez la fuerza de choque transmitida al escalador y la fuerza proveniente del sistema de frenado del asegurador. Estas dos fuerzas se suman y da como resultado la fuerza que debe soportar el último anclaje.

Es difícil determinar la fuerza que proviene del asegurador a causa del rozamiento existente entre la cuerda y los mosquetones, pero lo que está claro es que siempre será menor que la transmitida al escalador. En varias fuentes de libros de escalada la fuerza total que sufre el último punto mosquetoneado se estima en 1.6 veces la fuerza de choque transmitida al escalador. Por lo tanto es fácil deducir que la fuerza proveniente del asegurador como máximo es aproximadamente 0.6 veces la fuerza de choque. Como se verá más adelante en el apartado de fuerzas del pliego de condiciones funcional esto se debe a la ecuación conocida como Capstain Equation (Ecuación del Cabrestante).



$$C = A + B$$

$$C: \text{fuerza que soporta el último anclaje} \quad C \cong 1.6 Fch$$

$$B: \text{fuerza de choque transmitida al escalador} \quad B = Fch$$

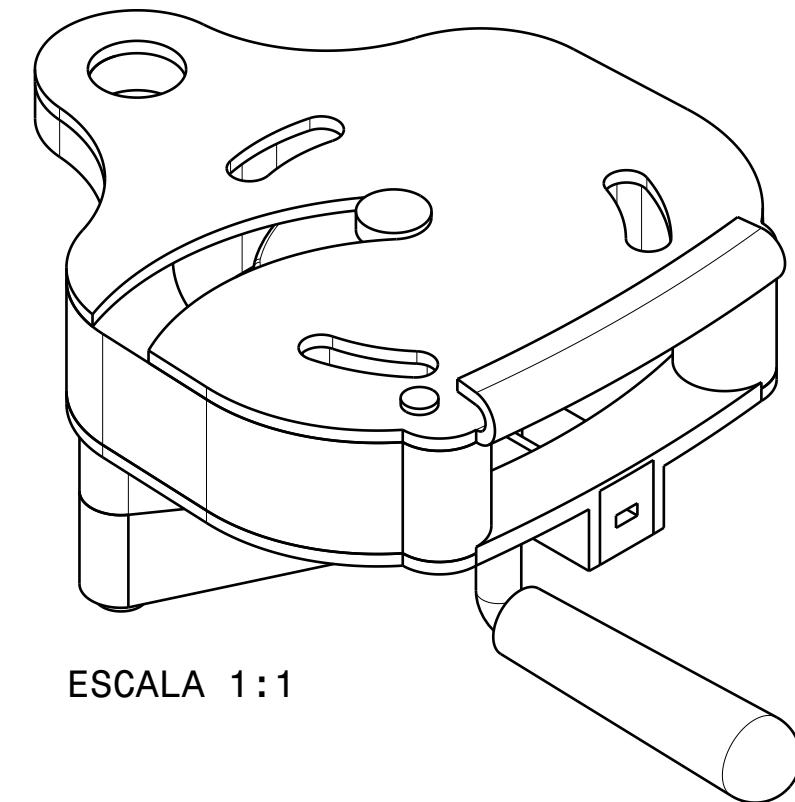
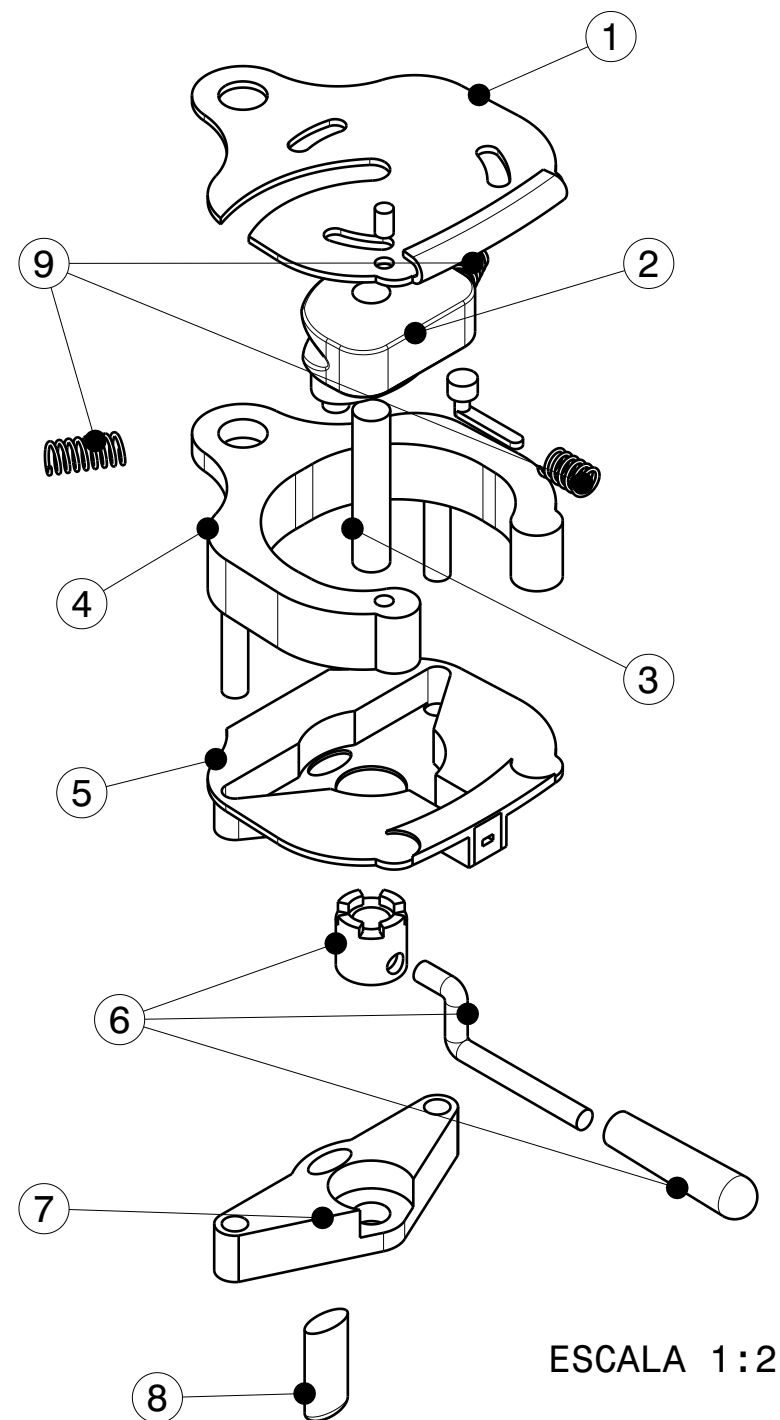
$$A: \text{fuerza proveniente del asegurador.} \quad A \cong 0.6 Fch$$

Esta es la razón por la que una persona de menor peso pueda asegurar a una persona de mayor peso ya que en una caída va a sentir aproximadamente el 60% de la fuerza proveniente del escalador.

14 ANEXO 2.Planos

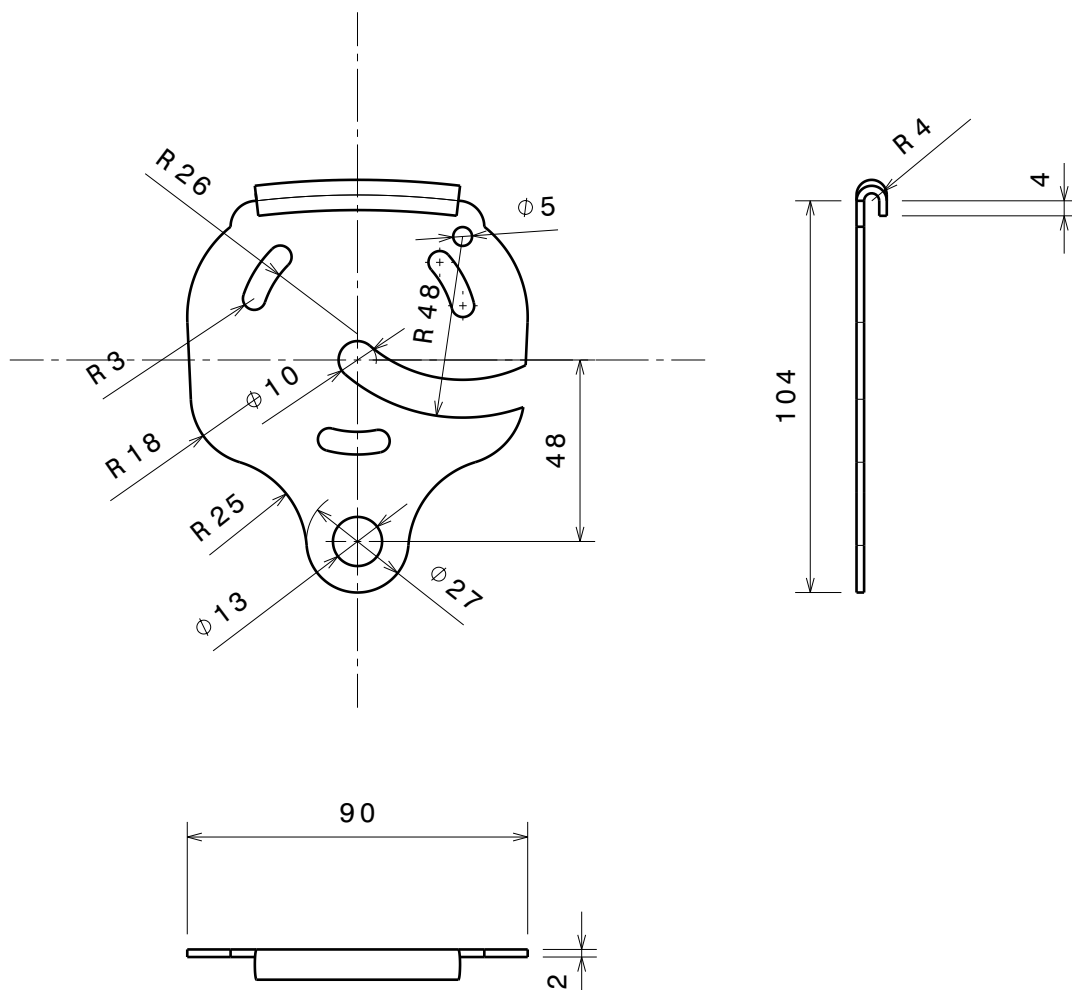
Índice de planos

Plano N° 1	Despiece del asegurador
Plano N° 2	Tapa delantera
Plano N° 3	Eje central
Plano N° 4	Soporte y ejes auxiliares
Plano N° 5	Mecanismo de bloqueo
Plano N° 6	Tapa trasera
Plano N° 7	Tapa sujeción eje
Plano N° 8	Conjunto empuñadura



9	Muelles	3	ISO 10243
8	Botón de bloqueo	1	Nylon reforzado
7	Tapa de ajuste eje	1	Aluminio-Zinc 7075
6	Empuñadura	3	Acero y nylon reforzado
5	Tapa trasera	1	Aluminio-Zinc 7075
4	Soporte y ejes auxiliares	3	PVC y acero
3	Eje central	1	Acero temple y revenido
2	Leva y mecanismo de bloqueo	3	Acero temple y revenido
1	Tapa delantera	1	Aluminio-Zinc 7075
Marca	Denominación	Nº Piezas	Material

 Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa	E.T.S.I.I.T.		TOLERANCIAS SEGÚN NORMA ISO 2768-M	
	DEPARTAMENTO DE PROYECTOS E ING. RURAL		FORMATO: DIN A3	
PROYECTO: DISEÑO DE UN ASEGURADOR DE ESCALADA BIDIRECCIONAL		REALIZADO POR: MATA FERRER, IÑAKI		FIRMA:
PLANO: ASEGURADOR DE ESCALADA, DESPIECE		FECHA: 24/07/2014	ESCALA: 1:1 1:2	Nº PLANO: 1



1	Tapa delantera	Al-Zn 7075
Marca	Denominación	Material



Universidad Pública de
Navarra
Nafarroako Unibertsitate
Publikoa

E.T.S.I.I.T.

TOLERANCIAS SEGÚN
NORMA ISO 2768-M

DEPARTAMENTO DE
PROYECTOS E ING. RURAL

FORMATO:
DIN A4

PROYECTO:

**DISEÑO DE UN ASEGURADOR DE
ESCALADA BIDIRECCIONAL**

REALIZADO POR:

**MATA FERRER,
IÑAKI**

FIRMA:

PLANO:

TAPA DELANTERA

FECHA:

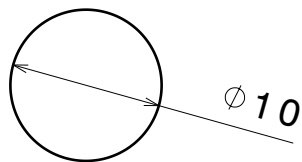
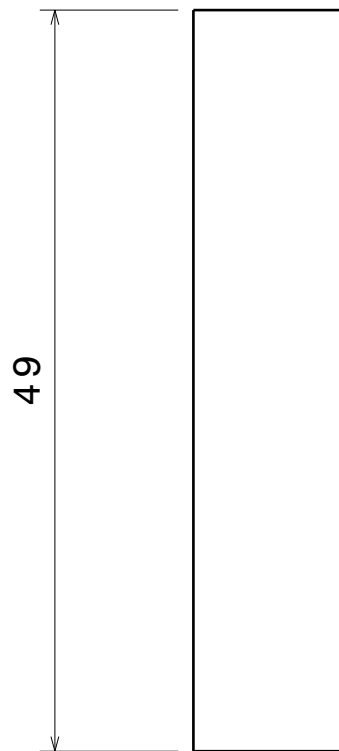
24/07/2014

ESCALA:

1:2

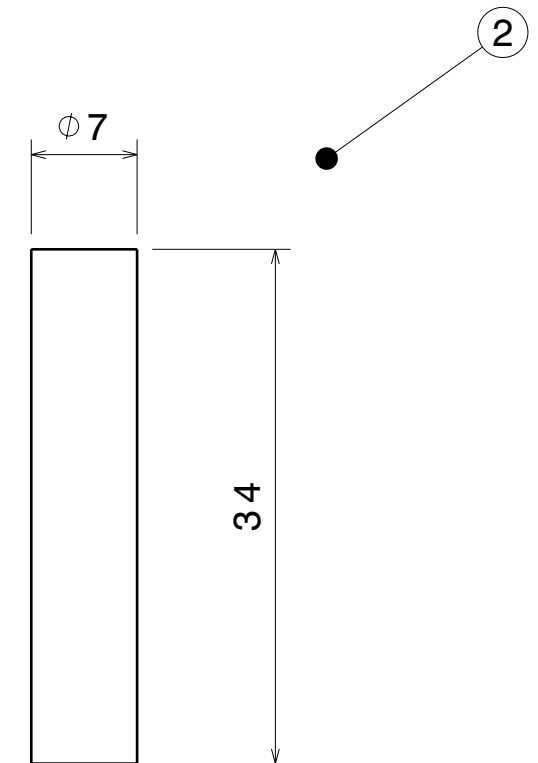
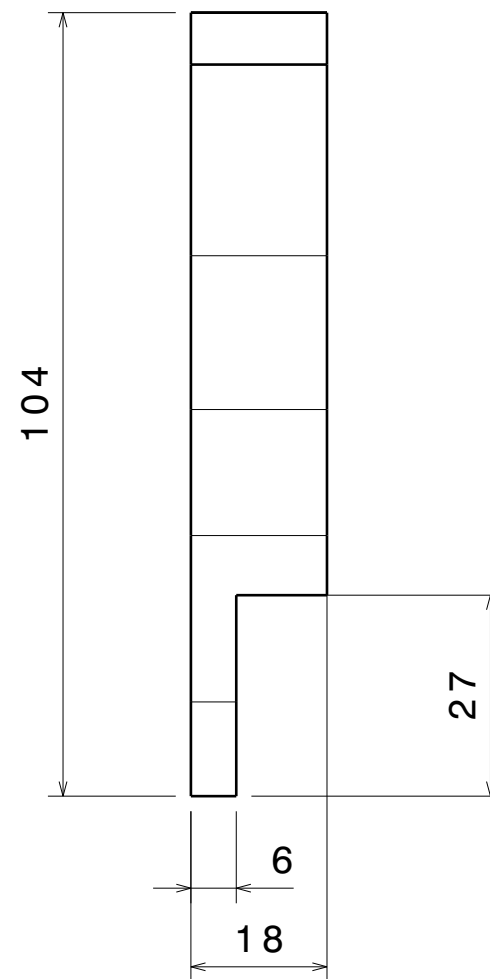
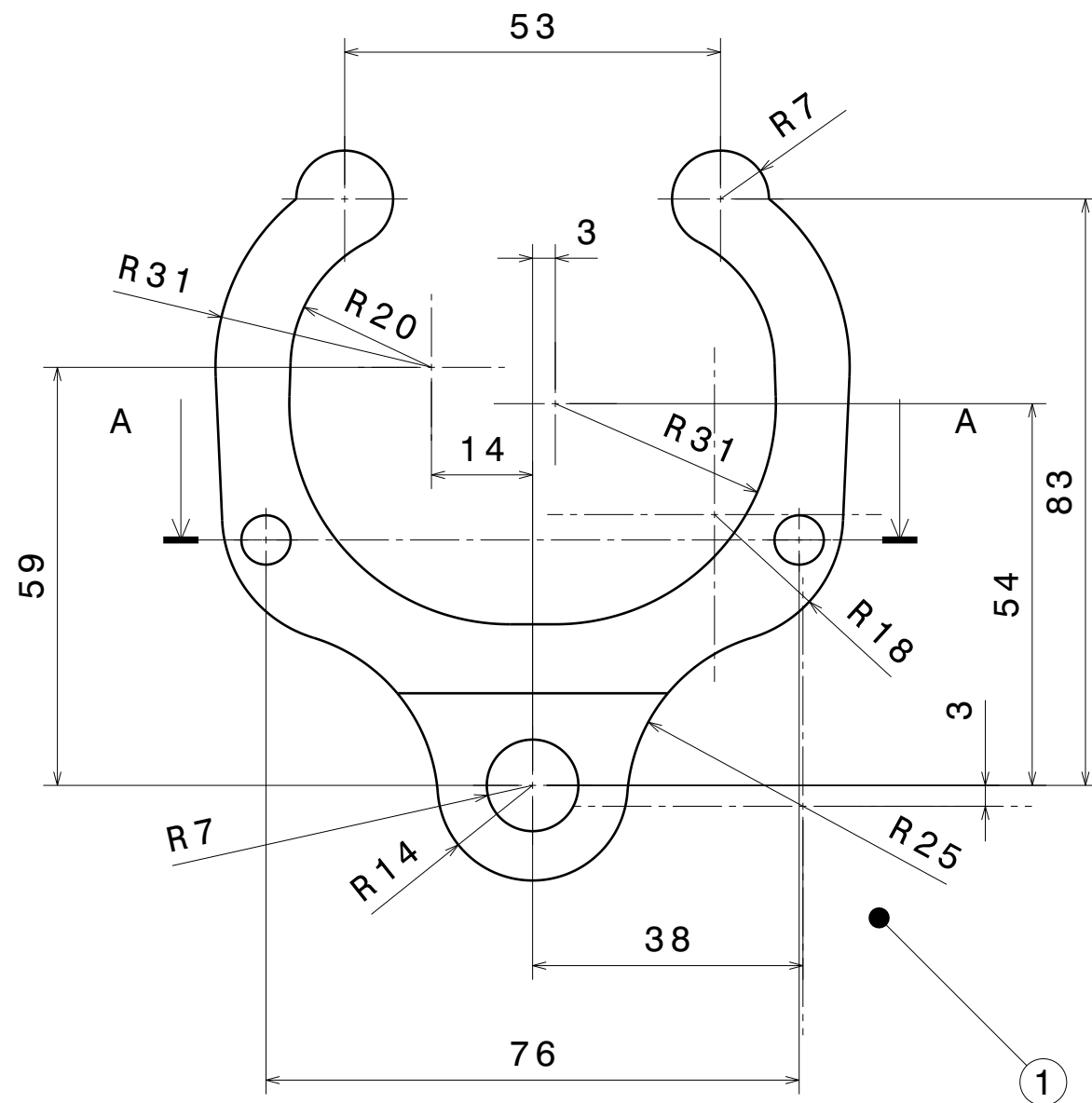
Nº PLANO:

2

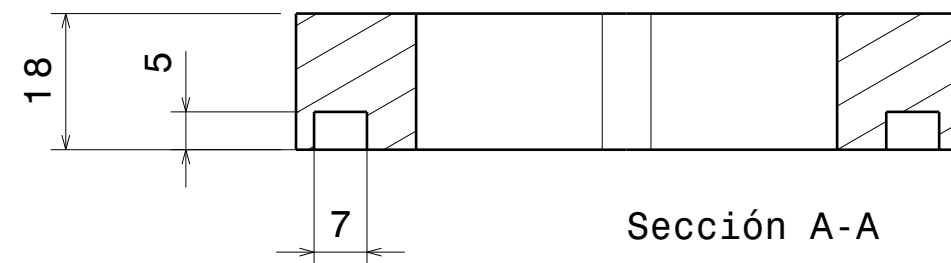


1	Eje central	1	Acero temple y revenido
Marca	Denominación	Nº piezas	Material

	Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa		E.T.S.I.I.T.		TOLERANCIAS SEGÚN NORMA ISO 2768-M	
			DEPARTAMENTO DE PROYECTOS E ING. RURAL		FORMATO: DIN A4	
PROYECTO: DISEÑO DE UN ASEGURADOR DE ESCALADA BIDIRECCIONAL			REALIZADO POR: MATA FERRER, IÑAKI		FIRMA:	
PLANO: EJE CENTRAL			FECHA: 24/07/2014		ESCALA: 2:1	Nº PLANO: 3




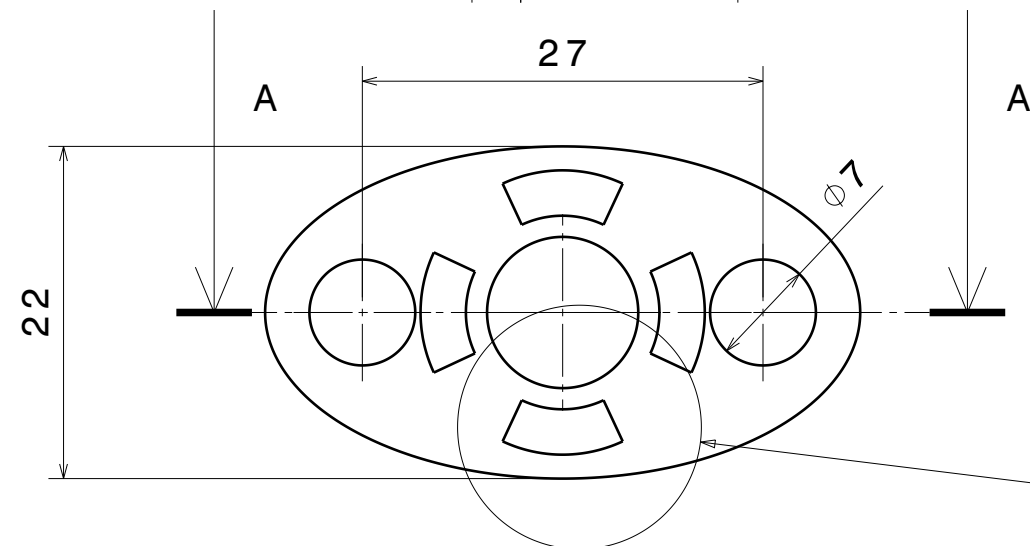
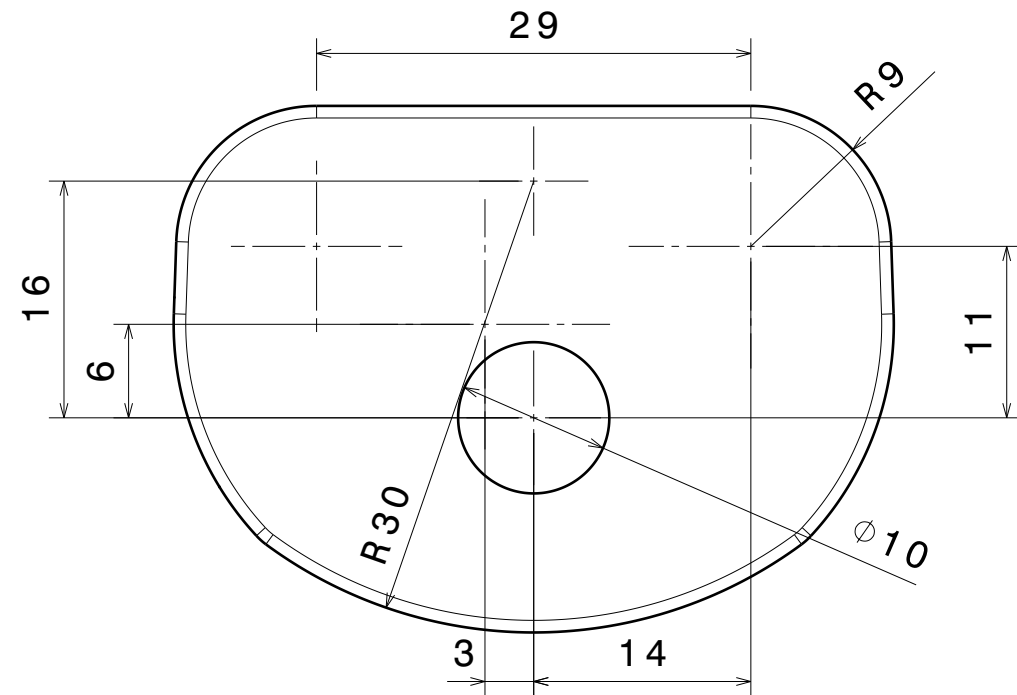
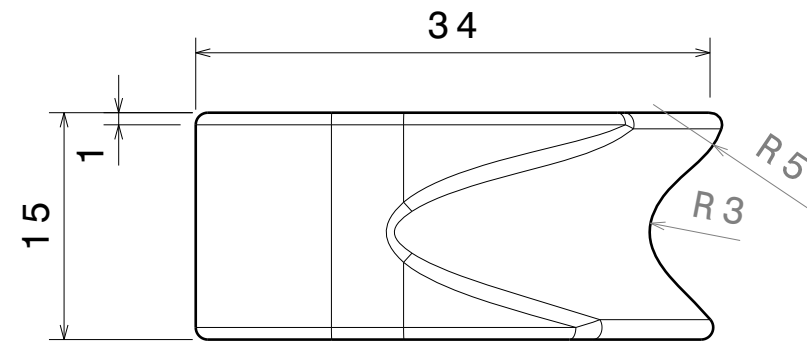
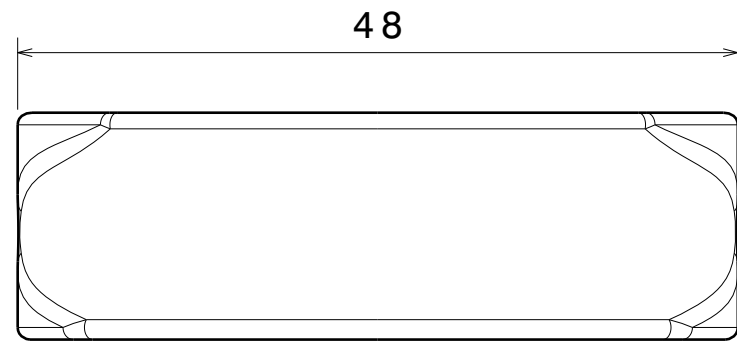
Escala 2:1



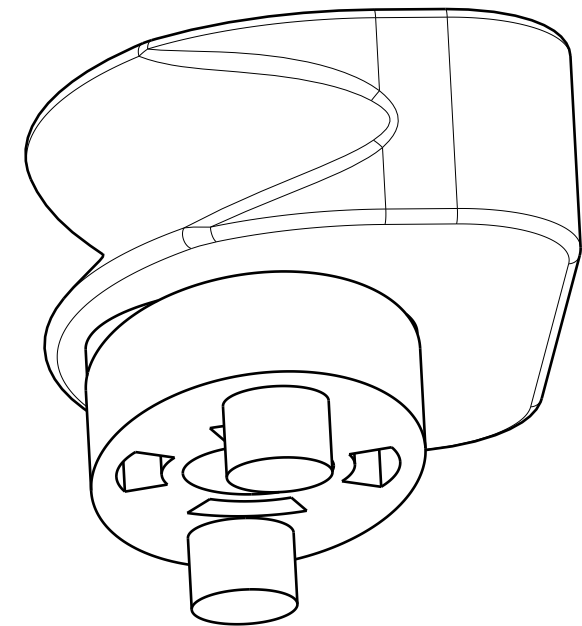
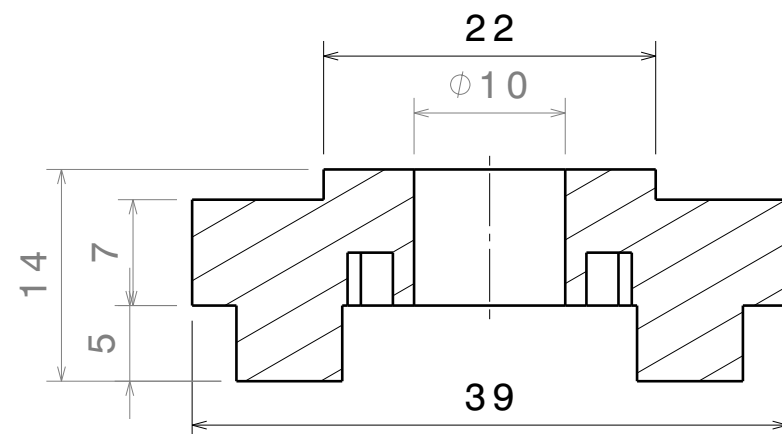
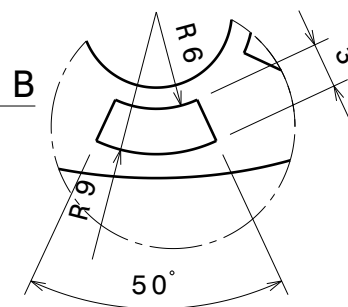
Sección A-A

2	Ejes auxiliares	2	Acero
1	Soporte	1	PVC
Marca	Denominación	Nº Piezas	Material


	Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa	E.T.S.I.I.T.	TOLERANCIAS SEGÚN NORMA ISO 2768-M	
		DEPARTAMENTO DE PROYECTOS E ING. RURAL	FORMATO: DIN A3	
PROYECTO: DISEÑO DE UN ASEGURADOR DE ESCALADA BIDIRECCIONAL		REALIZADO POR: MATA FERRER, IÑAKI		FIRMA:
PLANO: SOPORTE Y EJES AUXILIARES		FECHA: 24/07/2014	ESCALA: 1:1 2:1	Nº PLANO: 4

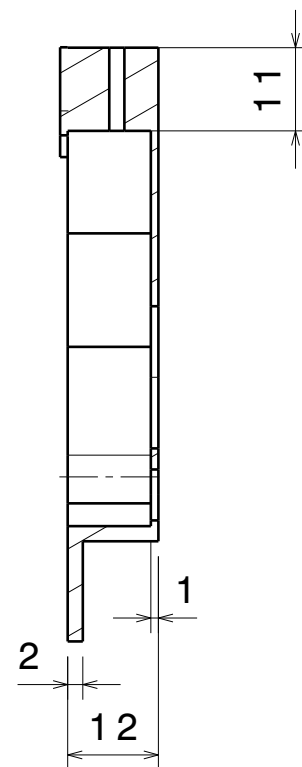
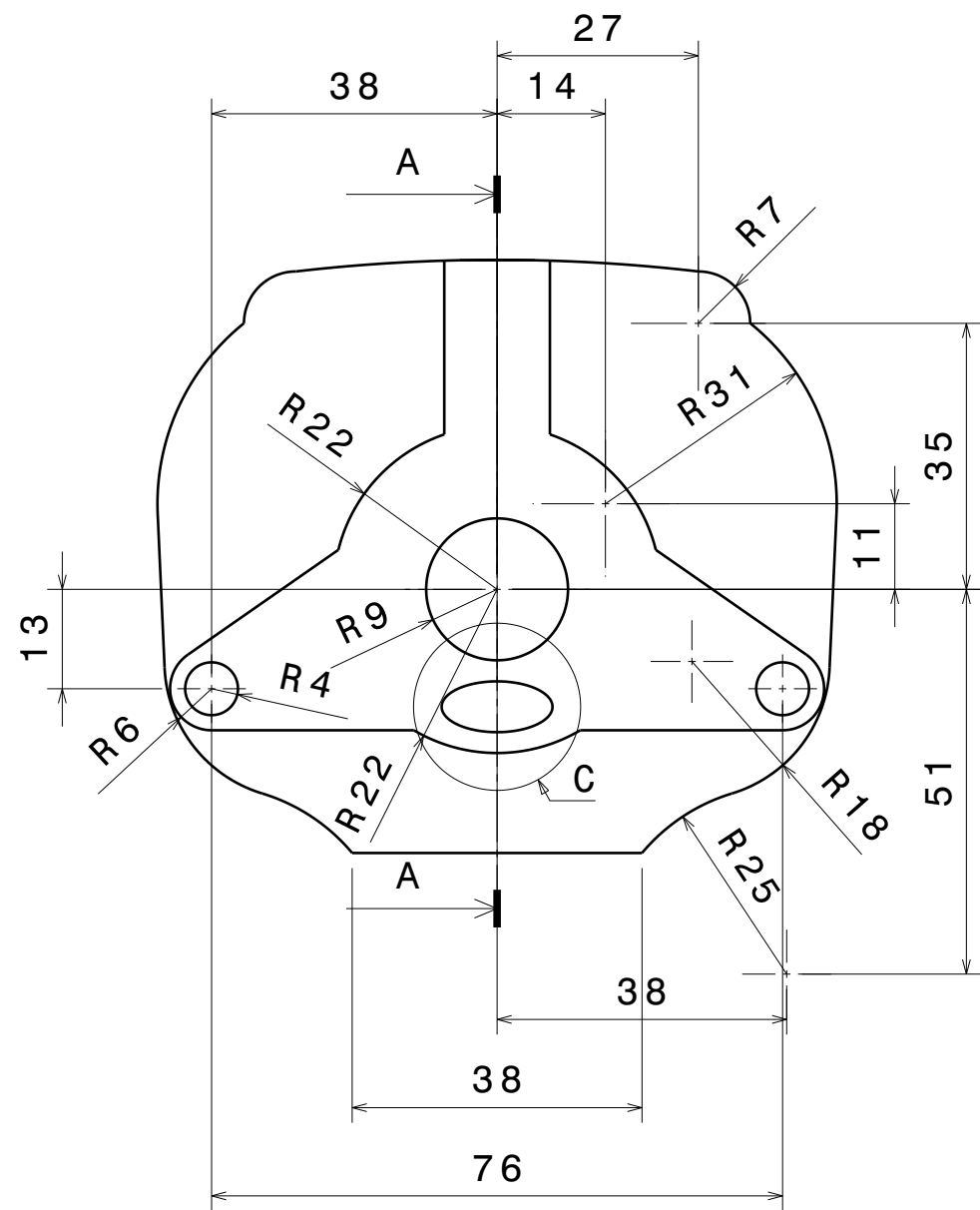


Detalle B

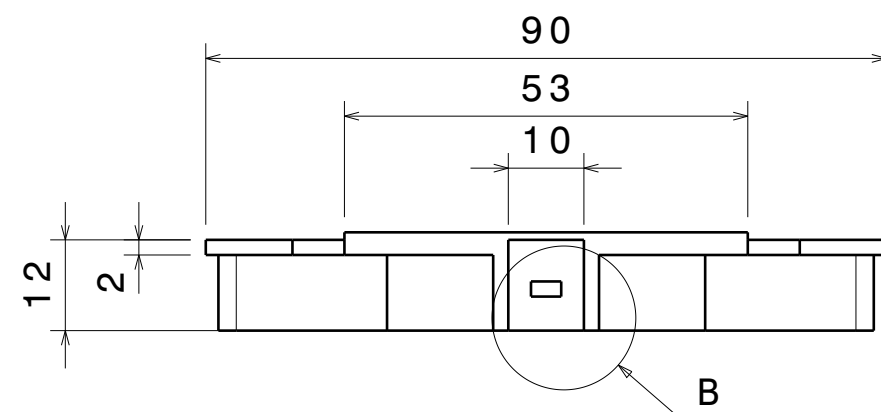
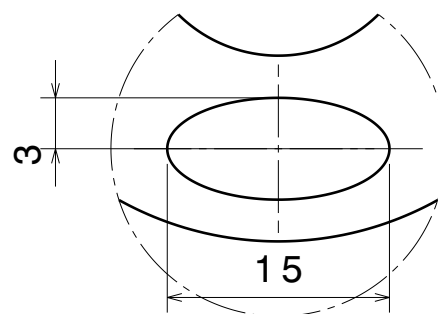


2	Elipse mecanismo	1	Acero temple y revenido
1	Leva de bloqueo	1	Acero temple y revenido
Marca	Denominación	Nº Piezas	Material

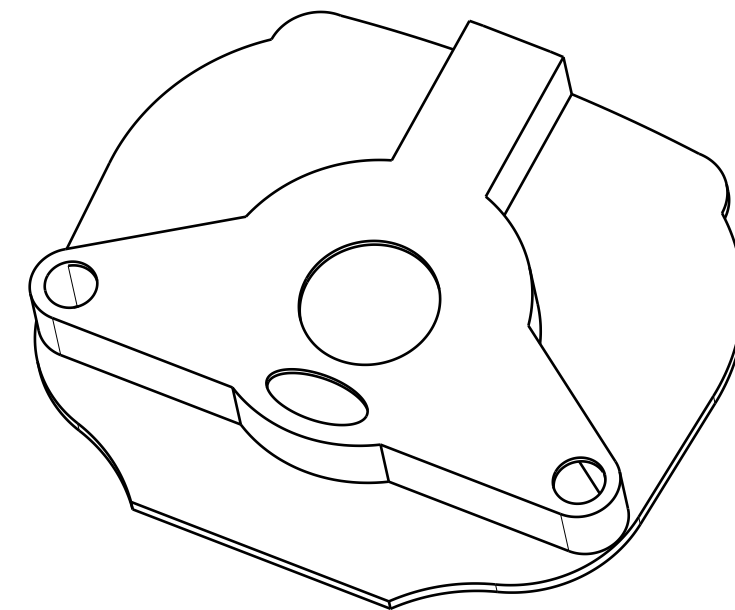
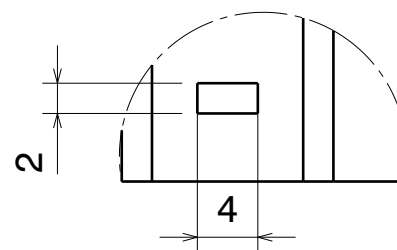
 Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa	E.T.S.I.I.T.		TOLERANCIAS SEGÚN NORMA ISO 2768-M	
	DEPARTAMENTO DE PROYECTOS E ING. RURAL		FORMATO: DIN A3	
PROYECTO: DISEÑO DE UN ASEGURADOR DE ESCALADA BIDIRECCIONAL		REALIZADO POR: MATA FERRER, IÑAKI		FIRMA:
PLANO: MECANISMO DE BLOQUEO		FECHA: 24/07/2014	ESCALA: 2:1	Nº PLANO: 5




Detalle C
Escala 2:1

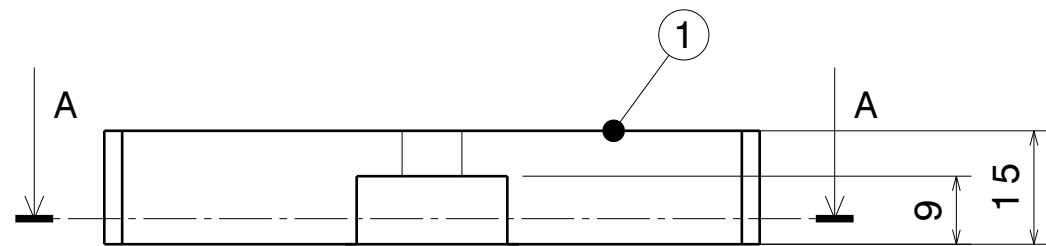


Detalle B
Escala 2:1

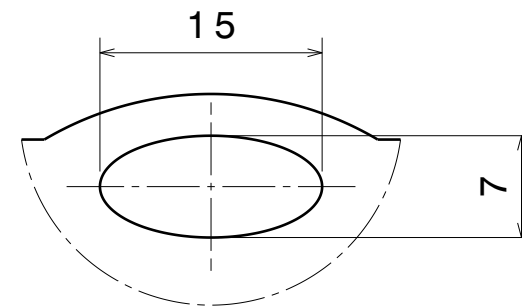
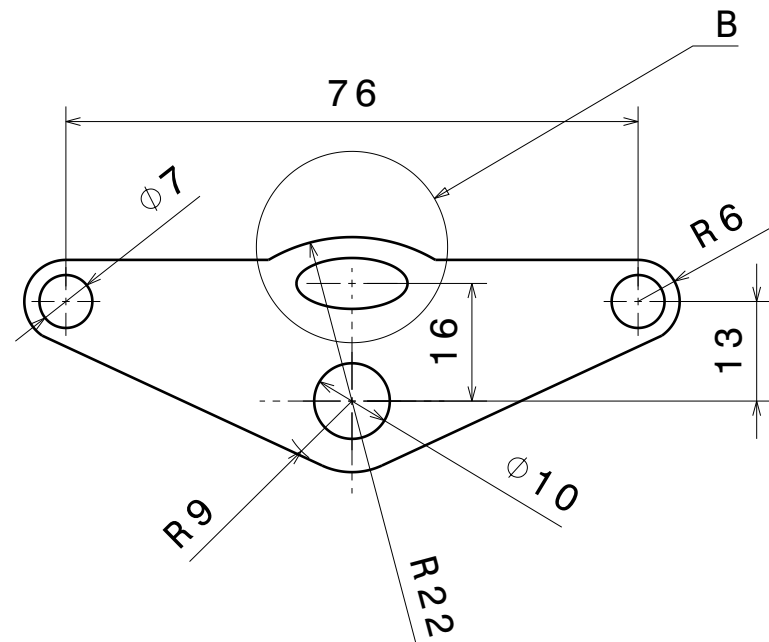
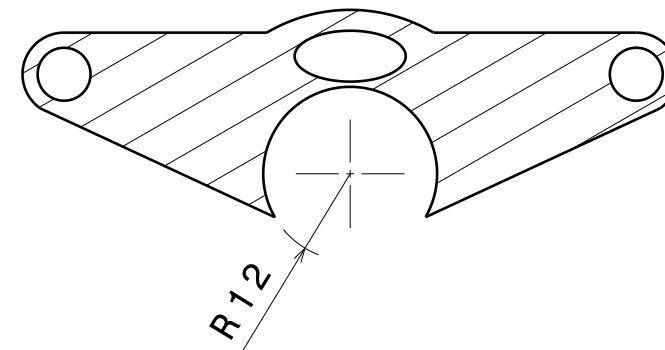


1	Tapa trasera	1	Aluminio-Zinc 7075
Marca	Denominación	Nº Piezas	Material

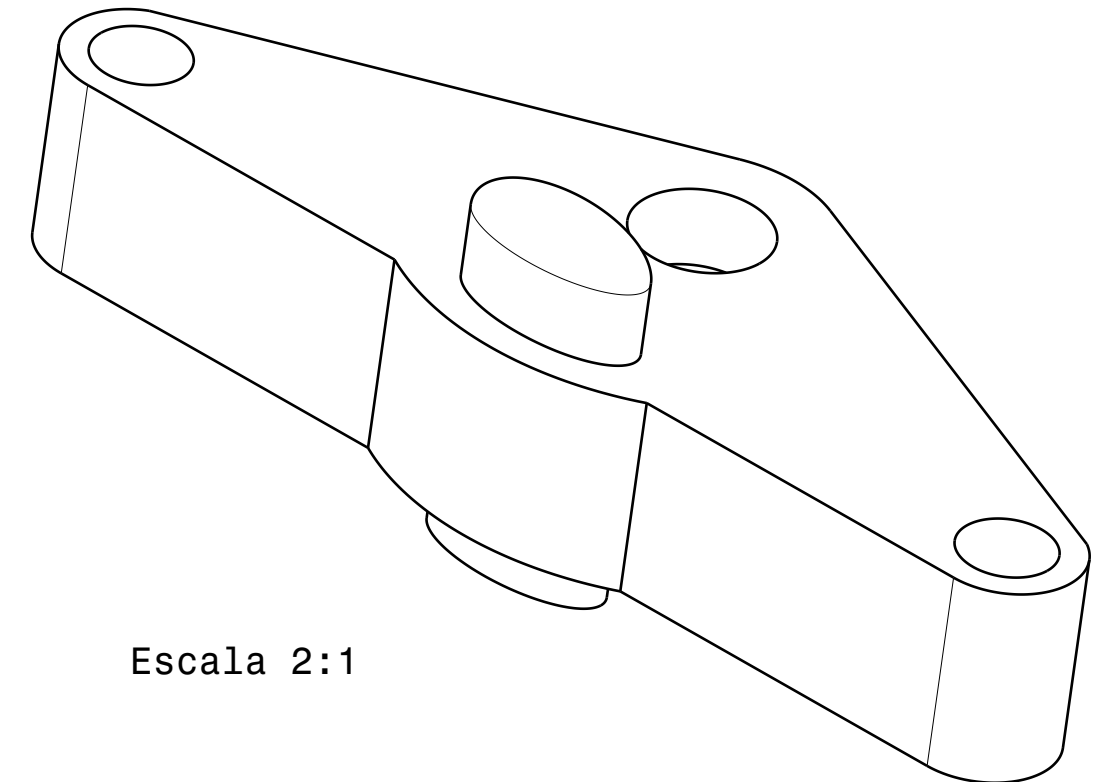
 Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa	E.T.S.I.I.T.		TOLERANCIAS SEGÚN NORMA ISO 2768-M
	DEPARTAMENTO DE PROYECTOS E ING. RURAL		FORMATO: DIN A3
PROYECTO: DISEÑO DE UN ASEGURADOR DE ESCALADA BIDIRECCIONAL		REALIZADO POR: MATA FERRER, IÑAKI	FIRMA:
PLANO: TAPA TRASERA		FECHA: 24/07/2014	ESCALA: 1:1 2:1
		Nº PLANO:	6



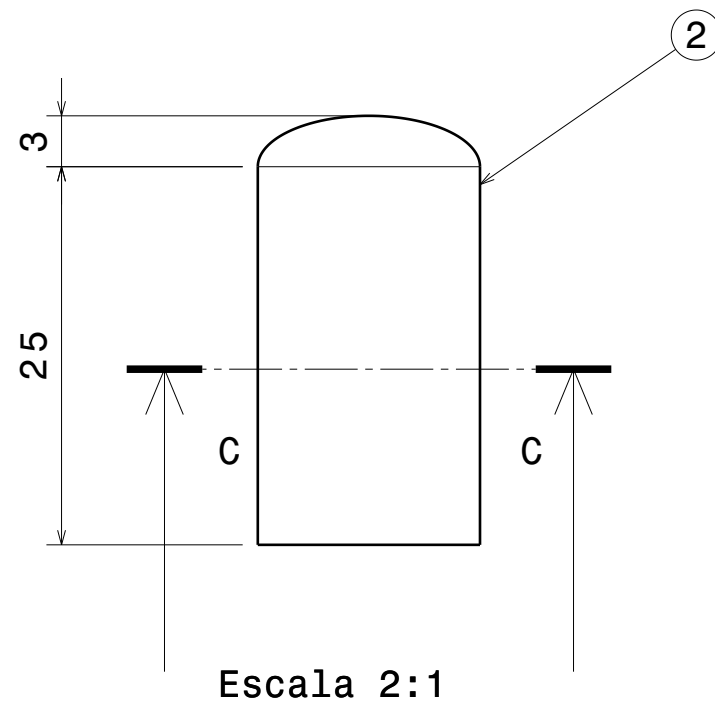
Sección A-A



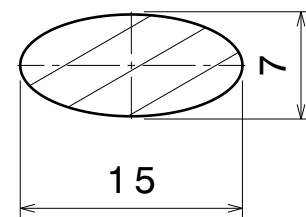
Detalle B
Escala 2:1




Escala 2:1

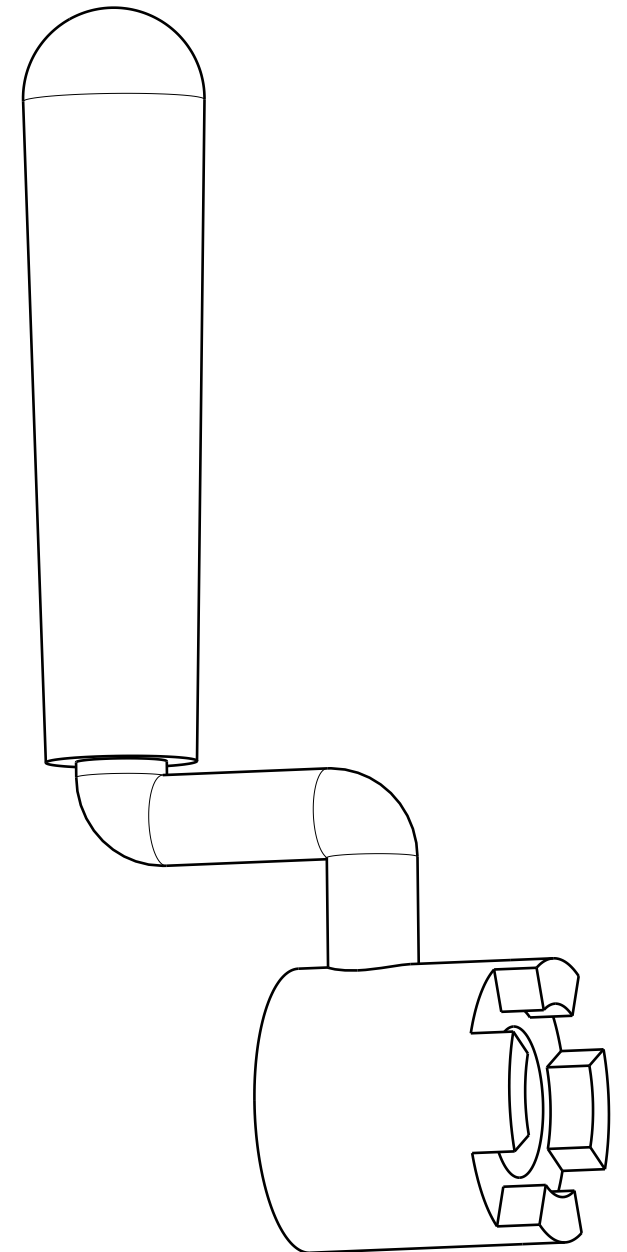
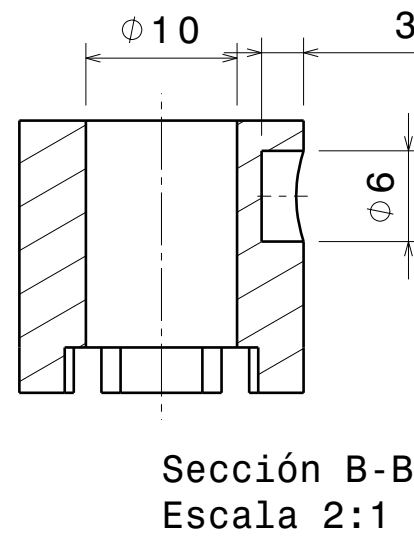
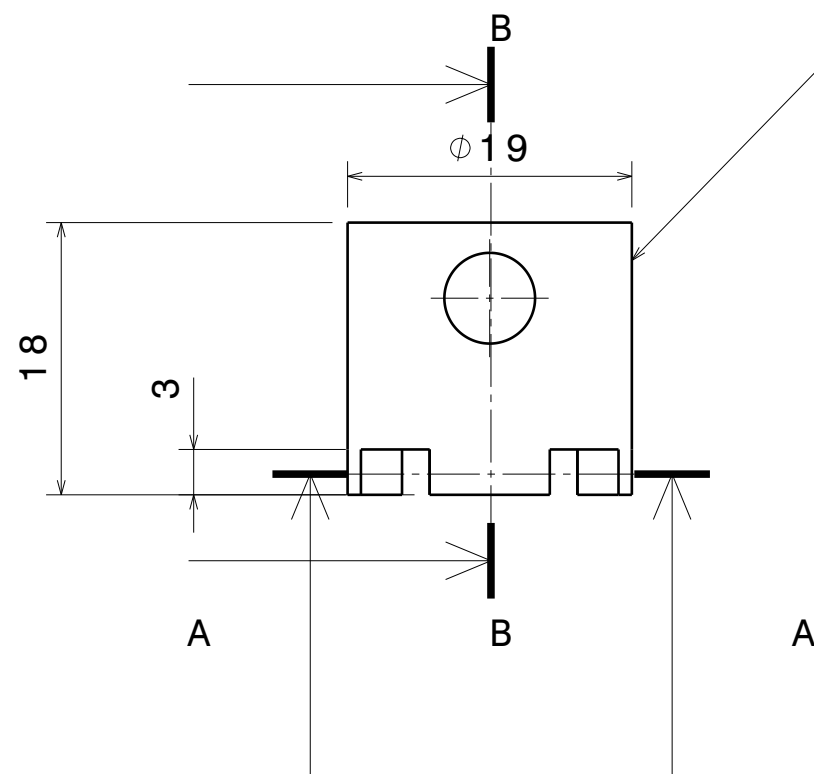
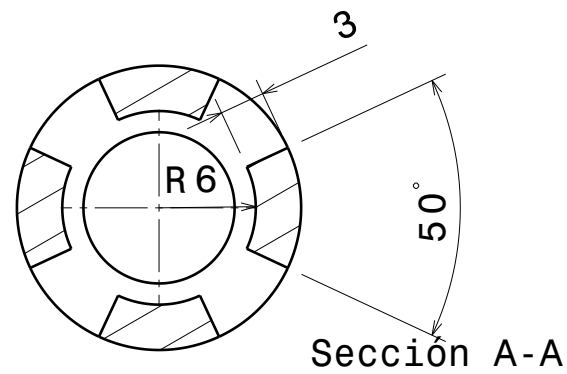
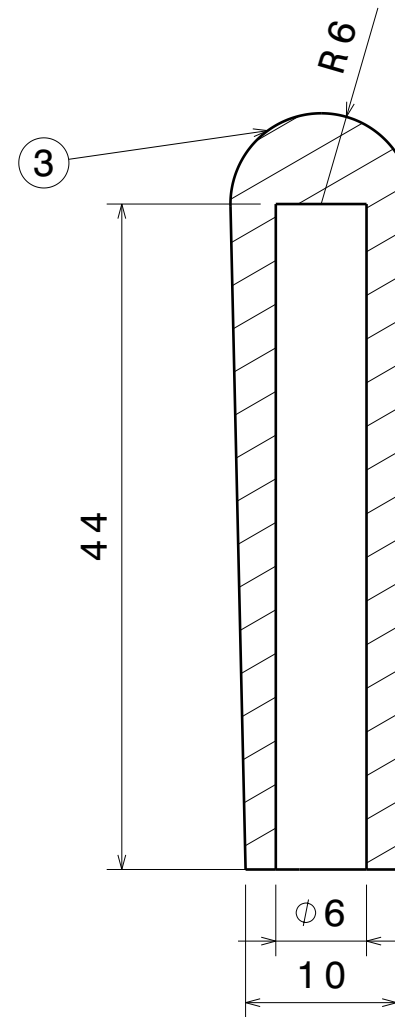
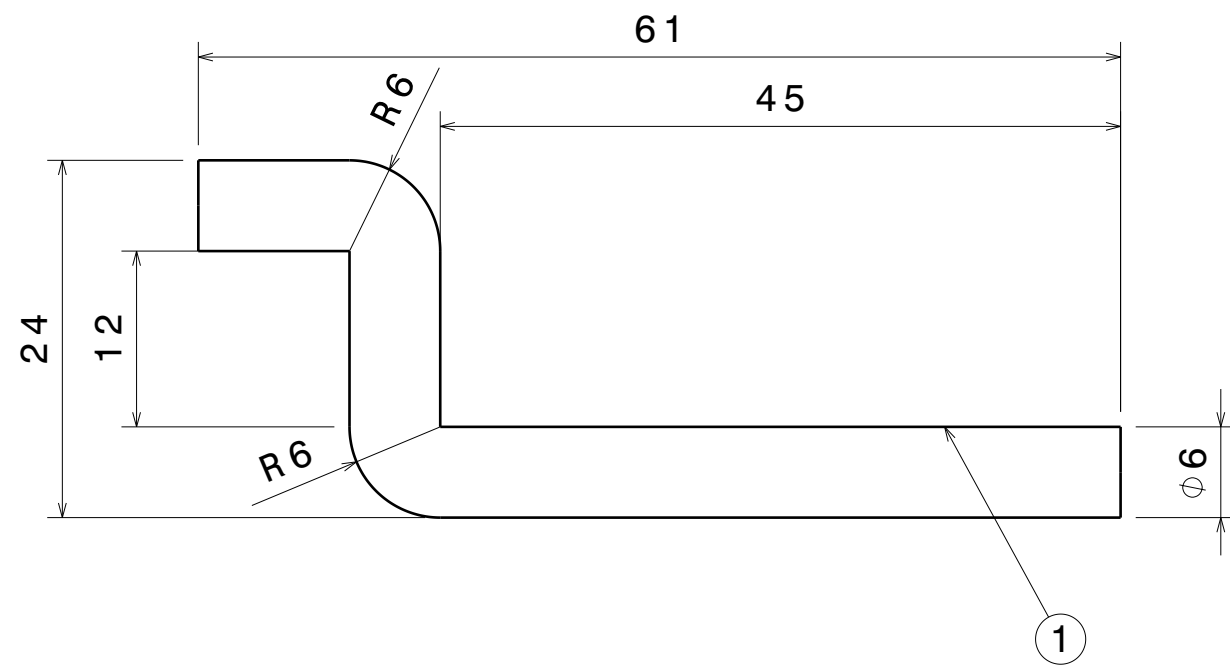


Sección C-C
Escala 2:1




2	Botón bloqueo	Nylon reforzado
1	Sujeción eje	Al-Zn 7075
Marca	Denominación	Material

	Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa	E.T.S.I.I.T.	TOLERANCIAS SEGÚN NORMA ISO 2768-M	
		DEPARTAMENTO DE PROYECTOS E ING. RURAL	FORMATO: DIN A3	
PROYECTO: DISEÑO DE UN ASEGURADOR DE ESCALADA BIDIRECCIONAL		REALIZADO POR: MATA FERRER, IÑAKI		FIRMA:
PLANO: TAPA SUJECIÓN EJE		FECHA: 24/07/2014	ESCALA: 1:1 2:1	Nº PLANO: 7



3	Mango	Nylon reforzado
2	Acople	Acero temple y revenido
1	Tubo	Acero
Marca	Denominación	Material

	Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa	E.T.S.I.I.T.		TOLERANCIAS SEGÚN NORMA ISO 2768-M	
		DEPARTAMENTO DE PROYECTOS E ING. RURAL		FORMATO: DIN A3	
PROYECTO: DISEÑO DE UN ASEGURADOR DE ESCALADA BIDIRECCIONAL		REALIZADO POR: MATA FERRER, IÑAKI		FIRMA:	
PLANO: Conjunto empuñadura		FECHA: 24/07/2014		ESCALA: 2:1	
				Nº PLANO: 8	